

Markus Salin

Aurinkosähköjärjestelmän ja hybridi- ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja energiatehokkuusselvitys opetusrakennuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
30.4.2011

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Markus Salin Aurinkosähköjärjestelmän ja hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja energiatehokkuusselvitys opetusrakennuksessa 53 sivua ja 3 liitettä 30.4.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	rakennusten sähkö- ja tietotekniikka
Ohjaaja(t)	DI Alexandre Zaitsev lehtori Matti Sundgren
<p>Selvityksessä tarkasteltiin HKR - Rakennuttajan rakennuttaman Latokartanon peruskoulun hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa eri käyttötilanteissa sekä kiinteistöön asennettua aurinkosähköjärjestelmää. Selvityksen tavoitteena on alan kirjallisuuden sekä paikan päällä tehtävien tarkastuksien ja mittauksien avulla todentaa kohteen LVISA-järjestelmien järkevä ja energiatehokas toiminnallisuus.</p> <p>Selvitys koostuu kahdesta insinööritoiminnasta, joista toinen keskittyy LVI- ja toinen SA-järjestelmiin. Tämä työ käsittelee selvityksen SA-osuutta. Sähkötekniikan osalta työ rajoittuu rakennukseen toteutetun aurinkosähköjärjestelmän arvioituun aurinkoenergian tuotantotarkasteluun. Lisäksi tarkastellaan hybridi-ilmanvaihtokoneiden energiatehokasta käyttöä ja tehdään johtopäätökset.</p> <p>Insinööritoiminnan tavoitteena on selvittää Latokartanon peruskouluun asennetun aurinkosähköjärjestelmän energiantuotanto kustannusvaikutuksineen vuodelle. Insinööritoiminta keskittyy pitkälti laskennalliseen Latokartanon aurinkoenergian tuotantoon käyttäen vertailukohteena Aurinkolahden peruskoulun aurinkosähköjärjestelmää sekä Insinööritoimisto Olof Grönlund Oy:n aurinkoenergian tuotannon arviointimenetelmää.</p> <p>Kohteen aurinkosähköjärjestelmän energiantuotannoksi muodostui kahden edellä mainitun arviointimenetelmän perusteella 9 447 kWh, joka on 62,5 % teoreettisesta maksimista Suomessa. Teoreettinen aurinkoenergian saanti määriteltiin Ilmatieteenlaitoksen tilastojen, aiheeseen liittyvän kirjallisuuden ja laitevalmistajan ilmoittamien lähtötietojen avulla.</p> <p>Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä osoittautui paikan päällä tehtyjen mittauksien sekä rakennusautomaatiosta saatavien tietojen perusteella toimivan suunnitelmien mukaisesti.</p> <p>Tulevaisuudessa investoiminen yhä kannattavampiin uusiutuviin energianlähteisiin yhdessä muiden energiatehokkaiden ratkaisuiden kanssa mahdollistavat Helsingin kaupungin ilmastotavoitteiden saavuttamisen.</p>	
Avainsanat	aurinkosähkö, -energia, energiatehokkuus, tuotanto, kustannusvaikutukset, hybridi-ilmanvaihto

Author(s) Title Number of Pages Date	Markus Salin Energy efficiency and system operating using solar power and hybrid ventilation in an educational building 53 pages + 3 appendices 30 April 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructor(s)	Alexandre Zaitsev, Master of Science Matti Sundgren, Senior lecturer
<p>This final year project is part of a study examining the co-existing solar power and hybrid ventilation systems at Latokartano comprehensive school. The systems were examined under different operating conditions. The purpose of the study was to verify the energy efficient functioning of these systems on the basis of relevant technical literature and operational measurements.</p> <p>The study consists of two separate Bachelor's theses, one covering the HVAC of the school and the other about the electricity at the school. This Bachelor's thesis concentrates on the electricity part of the study and covers the analysis and production profile of the solar power system in the year 2010. Energy efficient usage of hybrid ventilation system is also analysed.</p> <p>The main goal of this thesis was to define the energy production profile and the cost effects of the solar power system of the school for the year 2010. This thesis is based on calculated estimates. The calculated estimates of solar energy production in Latokartano were compared to a similar system used in Aurinkolahti Comprehensive School and a solar energy calculation software used by an engineering company.</p> <p>The estimated operating efficiency of the solar energy system at Latokartano school is around 9 447 kWh/year which is 62.5 % out of the calculated theoretical maximum, based on the two estimation methods used in the examination. The theoretic baseline of solar energy production used in this thesis was taken from the statistics of the Finnish Meteorological institute (1970 - 2004), literature sources, and data from the manufacturer.</p> <p>According to the measurements and data from the building automation system, the hybrid ventilation system turned out to work as planned.</p> <p>The City of Helsinki will reach its environmental goals, based on treaties binding the city, by on one hand investing in renewable, profitable energy sources, and on the other always choosing energy efficient solutions.</p>	
Keywords	solar electricity, solar energy, energy effectiveness, production, cost influences, hybrid ventilation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Työn tavoitteet	2
3	Sitoumukset ja niiden tavoitteet	3
4	Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät	5
4.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	5
4.2	Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä	5
4.3	Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä	7
4.4	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	8
4.5	Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä	10
4.5.1	Yhdistetty painovoimainen ja koneellinen ilmanvaihto	10
4.5.2	Puhallinavusteinen painovoimainen ilmanvaihto	11
4.5.3	Painovoimain ja tuulen avustama koneellinen ilmanvaihto	11
4.6	Ilmanvaihtojärjestelmien ohjaus- ja säätötavat	12
4.7	Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän energiataloudelliset säästöt	13
5	Rakennusten aurinkosähköjärjestelmät	14
5.1	Aurinkoenergia	14
5.2	Auringon teho ja säteily	14
5.3	Aurinkoenergian käyttösovelluksia	17
5.4	Aurinkosähkömarkkinat ja kehitys	19
5.5	Aurinkosähköjärjestelmän komponentit	21
5.5.1	Aurinkokenno	21
5.5.2	Aurinkopaneeli	22
5.5.3	Akusto	23
5.5.4	Lataussäädin	23
5.5.5	Vaihtosuuntaaja	24
5.6	Aurinkosähköjärjestelmän rakenne ja tyypit	25
5.7	Hyötysuhde	26
5.8	Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja toteutus	27

6	Helsingin opetusrakennusten sähköenergiankulutuksen kehitys ja jakautuminen	31
6.1	Opetusrakennusten sähköenergiankulutuksen kehitys	31
6.2	Sähkönkulutuksen jakautuminen	32
7	Kohteen LVISA-järjestelmät	33
7.1	Perustiedot	33
7.2	Talotekniikka	33
7.2.1	Sähkötekniikka	33
7.2.2	Rakennusautomaatiojärjestelmä	34
7.2.3	LVI-tekniikka	34
7.2.4	Latokartanon peruskoulun hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä	35
7.2.5	Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmä	36
7.2.6	Sähköenergiankulutus	36
8	Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän toiminnan analysointi	37
8.1	Tavoitteet	37
8.2	Tutkimusmenetelmä	37
8.3	Tulokset	38
8.4	Elinkaaritarkastelu	41
8.5	Johtopäätökset	42
9	Latokartanon peruskoulun hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan analysointi	44
9.1	Tavoitteet	44
9.2	Mittaukset	44
9.3	Tulokset	44
9.4	Johtopäätökset	48
10	Päätelmät	49
11	Loppuyhteenveto	51
	Lähteet	52
	Liitteet	
	Liite 1. Akvedukti Oy:n Toimintakaaviot LVI-0511-407	
	Liite 2. Naps Systems Oy:n kaavio GRI023	
	Liite 3. Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän tuotantotarkastelun lähtötiedot	

1 Johdanto

Teollistumisen ja elintason nousun myötä energiankulutus on jatkuvasti kasvanut viime vuosikymmeninä. Tämä ihmiskunnan tarvitsema lisäenergia on tuotettu pääosin fossiililla polttoaineilla. Fossiilisten polttoaineiden aiheuttamat ympäristövaikutukset ja pitkän ajan saatavuus asettavat näille polttoaineille omat haasteensa. Lisääntynyt energiantarve, kiristynyt ympäristöpolitiikka sekä kasvaneet energiakustannukset ovat aiheuttaneet kehityspaineita vaihtoehtoisille energiantuotantomuodoille sekä energiatehokkaammille teknisille järjestelmille ja ratkaisuille.

[1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–9]

Energiankulutuksen jatkaessa kasvuaan on ilmastonmuutos noussut jatkuvasti esille uusien järjestelmien energiatehokkuutta mietittäessä. Ensimmäinen maailmanlaajuinen ilmastositoumus, Kioton pöytäkirja, hyväksyttiin vuonna 1997, ja se tuli voimaan 16.2.2005. Kioton pöytäkirja velvoittaa sen ratifioineita kehittyneitä valtioita kasvihuonepäästöjen vähentämiseen 5,2 % vuoden 1990 tasosta vuosina 2008–2012. Velvoite oli vuoteen 2002 maakohtainen, jolloin eri maissa oli erilaiset sitovat tavoitteet, kunnes EU ratifioi pöytäkirjan. EU:n ratifioinnin yhteydessä päästövähennysvelvoitteeksi asetettiin 8 %, mutta päästövähennysvelvoitteet jäivät edelleen maakohtaisiksi. Suomen osalta pöytäkirja edellyttää pitämään kasvihuonepäästöt vuosina 2008–2012 sellaisella keskimääräisellä tasolla, joka vastaa Suomen vuoden 1990 päästötasoa. Kioton pöytäkirja ei suoraan esitä päästövähennyksen keinoja, vaan sopimuksen piiriin kuuluvat maat voivat itse päättää heille parhaiten soveltuvan menetelmän. [23, s. 1.]

EU:n joulukuussa vuonna 2008 hyväksymän ilmasto- ja energiapaketin tavoitteena on kasvattaa uusiutuvien energianlähteiden osuus 20 %:iin ja vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä vertailuvuoden ollessa 1990. Lisäksi energiatehokkuutta tulee lisätä 20 % vuoteen 2020 mennessä. Toistaiseksi EU on ainoa teollisuusmaa-alue, joka on sitoutunut vähentämään päästöjä Kioton sopimuskauden jälkeen, joka loppuu 31.12.2012. [23, s. 1.]

Suomessa rakennuksen energiankulutuksesta 90 % syntyy käytön aikana ja loput 10 % rakennuksen toteuttamiseen tarvittavasta energiasta (suunnittelusta, kuljetuksesta,

rakentamisesta, purkamisesta). Suomessa rakennetun ympäristön energiankulutuksen on arvioitu olevan 33 % koko primäärienergiankulutuksesta, kun Euroopan unionin vastaava kulutusosuus on arviolta 40 %.

[1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–9; 23, s. 1.]

Yhä kasvava energian tarve asettaa omalta osaltaan vaatimuksia energiankulutuksen tehostamiseen, mikä taas kohdistuu esimerkiksi koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttämään välittömään energiankulutukseen. Välitöntä energiankulutusta ovat koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sekä moottorikäyttöisten toimilaitteiden sekä komponenttien toiminta. [1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–9; 23, s. 1–7.]

Helsingin kaupungin kaikkien rakennuksien yhteenlaskettu kiinteistöala vuonna 2008 oli 8 027 280 m², joista palvelurakennuksien osuus oli noin 48 %. Opetusrakennuksien osuus palvelurakennuksista oli 29 %, ja ne kuluttivat myös eniten energiaa palvelurakennuksien sektorista, yhteensä noin 26 % kaikesta energiasta. Opetusrakennuksien pinta-ala on noussut vuodesta 1999 vuoteen 2008 11,5 %, kun sähköenergiankulutus on noussut vastaavalla ajanjaksolla 19,5 %. Yhä kasvava sähköenergiankulutuksen nousu asettaa Helsingin kaupungille paineita opetusrakennuksien energiatehokkuuden parantamiseen. [23, s. 2.]

Helsingin kaupungin rakennusviraston rakennuttaja (HKR - Rakennuttaja), on asiantuntijaorganisaatio, joka vastaa Helsingin infrastruktuurin ja julkisten rakennusten peruskorjaus- ja uudisrakennushankkeista. HKR - Rakennuttajan toimesta kehitetään jatkuvasti Helsingin rakennuskannan energiatehokkuutta hyödyntämällä uusiutuvia energianlähteitä ja tehostamalla nykyisiä taloteknisiä järjestelmiä. Tällä hetkellä energiatehokkuuden tehostaminen keskittyy päästöjen vähentämiseen energiakulutuksen pienentämisellä, koska uusiutuviin energianlähteisiin siirtyminen on kallis ja aikaa vievä prosessi. [23, s. 2.]

2 Työn tavoitteet

Tässä työssä tarkastellaan HKR - Rakennuttajan rakennuttamaan Latokartanon peruskouluun asennettua aurinkosähköjärjestelmää sekä hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa eri käyttötilanteissa. Sähkötekniikan osalta työ rajoittuu rakennukseen toteu-

tetun aurinkosähköjärjestelmän arvioituun aurinkoenergian tuotantotarkasteluun ja hybridilaitoksen sähköenergiankäyttöön.

Erinäisten ongelmien sekä puutteiden johdosta insinööri työn aurinkosähköosuus keskittyy pitkälti laskennalliseen Latokartanon aurinkoenergian tuotantoon käyttäen vertailukohteena Aurinkolahden peruskoulun aurinkosähköjärjestelmää sekä Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:n aurinkosähköjärjestelmien tuotannon arviointimenetelmää. Aurinkosähköjärjestelmän osalta työn tavoitteena on arvioida Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän energiantuotanto vuodelle 2010. Lisäksi tarkastellaan aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaikaa sekä kustannuksia.

Hybridilaitoksen osalta tarkastelu rajoittuu hybridi-ilmanvaihtokoneen TK204 energiatehokkuuden ja sähkönkulutuksen vuorokausiprofiilien analysoimiseen. Mittauksien ja sitä kautta analysoinnin tavoitteena on selvittää toimiiko järjestelmä suunnitellun mukaisesti. Vuorokausiprofiilien ja sitä kautta tuntiprofiilien tutkimisen avulla pyritään selvittämään järjestelmän sähkönkulutuksen painopisteet, niiden suuruus sekä kustannukselliset vaikutukset. Tarkastelun yhteydessä pyritään löytämään vioittuneet toimilaitteet sekä mahdolliset virheet järjestelmien toiminnassa, esimerkiksi, onko sähkönkulutus liian suuri tai vääristynyt sen alkuperäistä käyttötarkoitusta silmällä pitäen. Seurauksena nähdään muun muassa, toimiiko hybridi-ilmanvaihto tarpeeksi itsenäisesti vai tarvitseeko se jatkuvasti käyviä apupuhaltimia pystyäkseen toteuttamaan ilmanvaihdon tavoitearvot.

3 Sitoumukset ja niiden tavoitteet

Suomi ja sitä kautta Helsinki ovat aktiivisesti mukana kansainvälisissä, kansallisissa sekä kunnallisissa ilmastonmuutosta hidastavissa strategioissa. Helsinki on sitoumuksien perusteella velvoitettu vähentämään hiilidioksidipäästöjä parantamalla energiatehokkuutta ja lisäämällä uusiutuvien energianlähteiden käyttöä. [23, s. 1–7.]

Sitoumukset itsessään asettavat tavoitteita päästövähennykselle tai energiatehokkuuden parantamiselle määrätyksi ajanjaksoksi. Tavoitteiden saavuttaminen edellyttää tarkkojen toimintasuunnitelmien laatimista toimenpiteineen sekä tilanneraportointia.

HKR - Rakennuttaja laatii edellä mainittuja toimintasuunnitelmia toteuttaen niissä mainittuja toimenpiteitä yhteistyössä muiden kaupungin hallintokuntien kanssa. [23, s.1.]

Tärkeimpiä Helsinkiä koskevia sitoumuksia ovat

- Helsingin kaupungin energiapolitiittiset linjaukset (30.1.2008), joiden tavoitteina on kasvihuonepäästöjen pienentäminen 20 %:lla ja kasvattaa uusiutuvien energianlähteiden osuus 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä vertailuvuoden ollessa 1990.
- Työ- ja elinkeinoministeriön kanssa 4.12.2007 solmittu kuntien energiatehokkuussopimus (KETS), joka edellyttää 9 % eli 133 GWh:n absoluuttista energiansäästöä vuoden 2016 loppuun mennessä.
- EU:n kanssa 7.1.2009/10.2.2009 tehty kaupunginjohtajien energia- ja ilmastopopimus eli Covenant of Mayers (COM), joka edellyttää vähintään 20 % hiilidioksidin (CO₂) päästöjen vähentämistä vuoteen 2020 mennessä. Vertailuvuotena toimii 1990.

Kuntien energiatehokkuussopimuksen (KETS) velvoitteena on 9 %:n energiansäästö ajanjaksolla 2008–2016 verrattuna vuoteen 2005. KETS ei velvoita, että vuonna 2016 energiankulutus olisi 9 % alhaisempi verrattuna vuoden 2008 kulutukseen, vaan energiansäästökseen luetaan myös lasketun kulutusnousun estäminen. Tämän velvoitteen lisäksi Helsingin toimintasuunnitelmassa on otettu kantaa EU:n komission 10.1.2007 julkistamiin energia- ja ilmastopakettin (Energy for a Changing World) tavoitteisiin. Paketin tavoitteisiin kuuluu vähentää hiilidioksidipäästöjä 20 %, parantaa nykyisen rakennuskannan energiatehokkuutta 20 % sekä kasvattaa kaupungin käyttämien uusiutuvien energianlähteiden osuus 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. [23, s. 1–7.]

EU:n energiakomissaarin aloitteesta syntynyt Covenant of Mayers (COM) on vapaaehtoinen kaupunkien sopimus EU komission energia- ja ilmastopakettin asetettujen tavoitteiden saavuttamiseen tai jopa ylittämiseen. COM:n tavoitteena on ensisijaisesti EU:n energia- ja ilmastopakettin esittämän tavoitteen mukaan hiilidioksidin (CO₂) 20 %:n päästövähennys vuoteen 2020 mennessä. [23, s.8.]

Edellä mainituista sitoumuksista merkittävimmät ovat KETS ja Covenant of Mayers, jotka liittyvät EU:n energia- ja ilmastopakettiin ja pitävät sisällään kaupungin energia-poliittisia linjauksia. [23, s. 5.]

4 Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät

4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkoituksena on luoda rakennuksen käyttötarkoituksen mukaiselle toiminnalle soveltuvat olosuhteet ilman laadun sekä lämpöolojen osalta. Tilojen käyttäjille pyritään näin järjestämään tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa mahdollisimman terveellinen, viihtyisä sekä mukava sisäilmasto. Hyvällä ilman laadulla tarkoitetaan sitä, että ilman vaihtuvuus pidetään riittävänä, epäpuhtauksien määrä pysyy alle määräysten mukaisen tason ja että käyttäjälle ei aiheuteta vedon tunnetta. Lämpöoloilla pyritään optimoimaan tilojen käyttäjien mukavuus suorittaa heidän tehtävänsä. Eri käyttötarkoitukseen tarkoitetuilla rakennuksilla on erilaisia vaatimuksia ilman laadun sekä lämpöolojen suhteen, jotka ovat nähtävissä Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto 2010. [21, s. 1–10.]

Kaikki ilmanvaihtojärjestelmät on suunniteltava ja toteutettava niin, että ne kestävät suunnitelmien mukaisen käyttöiän oikein käytettyinä ja huollettuina. Tämä edellyttää ilmanvaihtojärjestelmille jatkuvaa seurantaa ja valvontaa sekä oikea-aikaisia huoltotoimenpiteitä. Ilmanvaihtojärjestelmien pitkälle kehittyneet ohjaus- ja valvontamahdollisuudet ovat seurausta hyvin suunnitelluista ja asennetuista rakennusautomaatiojärjestelmistä kenttälaitteineen, kuten lämpötila- ja CO₂-antureista. [22, s. 3-7.]

Ilmanvaihtojärjestelmää suunniteltaessa on arvioitava eri ilmanvaihtotapojen soveltuvuutta kyseiseen käyttötarkoitukseen. Erilaisia ilmanvaihtotapoja ovat painovoimainen, koneellinen poisto-, koneellinen tulo ja poisto- ja hybridi-ilmanvaihtojärjestelmät. [22, s. 4.]

4.2 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä

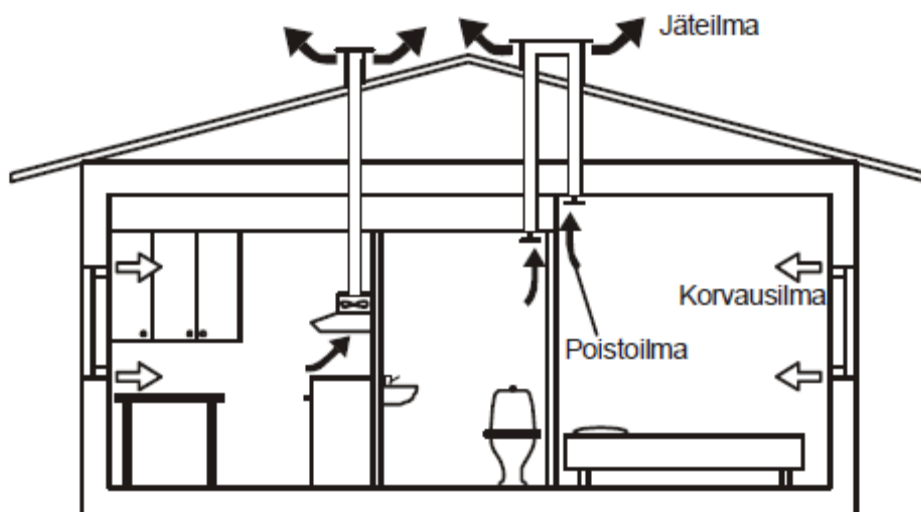
Luonnollisessa, myös painovoimaisena tunnetussa, ilmanvaihdon toteutustavassa perusideana on käyttää olemassa olevan rakennuksen tiloja siirtyvän ilman kulkureitteinä

haluttuihin paikkoihin. Tässä koneettomassa ilmanvaihdon toteutustavassa ilmaa kuljetetaan lämpötilan ja tuulen aiheuttamien paine-erojen avulla. Lämmin sisäilma kevyempänä virtaa poistokanavassa ylöspäin ja pois rakennuksesta. Samaan aikaan tilalle tulee kylmempää ulkoilmaa niin ulkoilmalaitteiden kuin rakenteiden ilmapuotojen kautta.

Voimassa oleva Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto määrittelee, että poistoilmasta talteenotettavan lämpömäärän tulee olla vähintään 45 % ilmanvaihdon tarvitsemasta lämpömäärästä. Lisäksi korvaavan ulkoilmavirran tulee olla joko $6 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{hlö}$ tai $3 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ kohden opetusrakennuksissa. Määräyksen voi täyttää rakennuksen vaipan lämmöneristävyyttä parantamalla, vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla tai vähentämällä ilmanvaihdon tarvitsemaa lämpömäärää. Painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä ei käytännössä ole mahdollista käyttää lämmöntalteenottoa. [1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–9; 21, s. 23; 23]

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ongelmia ovat ilmavirtauksen hallinnan puute, suuri lämpöenergian kulutus, tarve suurille kanaville, tarve suurelle sisälämpötilan (T_s) ja ulkolämpötilan (T_u) erolle sekä veto-ongelmat. Painovoimainen ilmanvaihto ei kesäaikaan, kun ulko- ja sisälämpötilojen ero on pieni, riitä kosteuden poistoon rakennuksen märkätiloista. Hyvinä puolina ovat sen sijaan pienet investointikulut ja äänetön toiminta. [26]

Kuvassa 4.2.1 havainnollistetaan painovoimaisen ilmanvaihdon toteutusta sekä ilmavirtojen kulkureittejä.



Kuvassa 4.2.1. Painovoimainen ilmanvaihto [26].

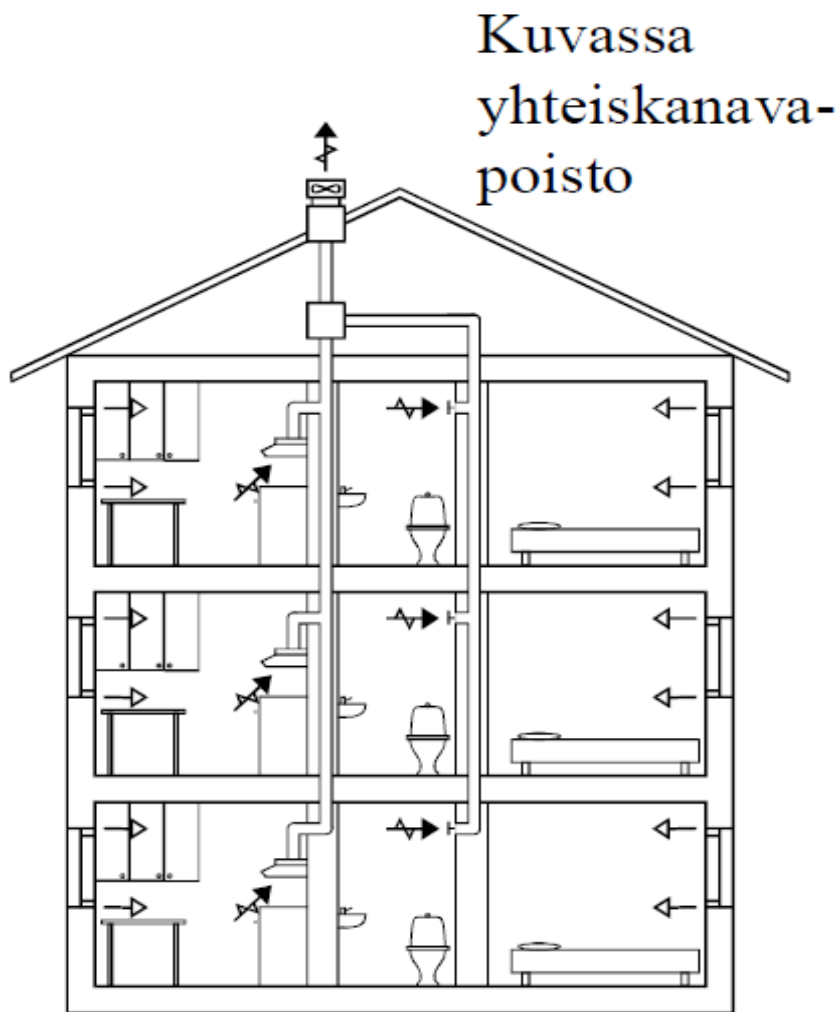
4.3 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimaisen ilmanvaihdon ollessa riittämätön, täydennetään sitä poistoilmapuhaltimilla. Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän tarkoituksena on imeä ilma liikkeelle tiloista, joihin se muutoin jäisi liian pienen lämpötilaeron seurauksena seisomaan. Koneellinen poistoilmanvaihto siis suurentaa ilmavirran liikuttamiseen tarvittavaa paineroa imemällä sisällä olevaa ilmaa ulos, ja samalla korvausilman vaihtuvuus lisääntyy samalla tilavuudella kuin poistoilmavirta. Tätä ilmanvaihtotapaa käytetään useimmiten vanhemmissa rakennuksissa parantamaan niiden riittämätöntä ilmanvaihtuvuutta. [22]

Tämän ilmanvaihtotavan huonona puolena voidaan pitää korvausilman huonoa hallittavuutta. Korvausilma tulee usein suodattamattomana korvausilma-aukoista tai venttiileistä, ovi- ja ikkunaraoista sekä vuotoina rakenteiden läpi. Tällöin sekä ulkoilman että rakenteiden epäpuhtauksia pääsee sisäilmaan. Yhteiskanavajärjestelmissä voi esiintyä ääniongelmia, koska äänet voivat kulkeutua kanavia pitkin asunnosta toiseen. Lisäksi oleskelutiloissa käyttäjillä saattaa esiintyä talvisin vedon tunnetta, koska korvausilmaa ei lämmitetä. Suuri lämpöenergian kulutus on ominaista tälle ilmanvaihtojärjestelmälle, koska lämmöntalteenotto (LTO) on harvinaista sellaisissa rakennuksissa, joissa esiintyy koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. [7; 26]

Painovoimaiseen ilmanvaihtoon verrattuna hyvinä puolina ovat lähes sää- ja ulkolämpötiloista riippumaton toiminta, IV-kanavien pienempi koko sekä mahdollisuus lämmön talteenottoon (LTO) esimerkiksi ilmalämpöpumpulla. [7; 26]

Kuvassa 4.3.1 havainnollistetaan koneellisen poistoilmanvaihdon toteutusta sekä ilmavirtojen kulkureittejä. Kuvan rakennuksessa ei ole käytetty lämmöntalteenottoa. [26]



Kuva 4.3.1. Koneellinen poistoilmanvaihto [26].

4.4 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

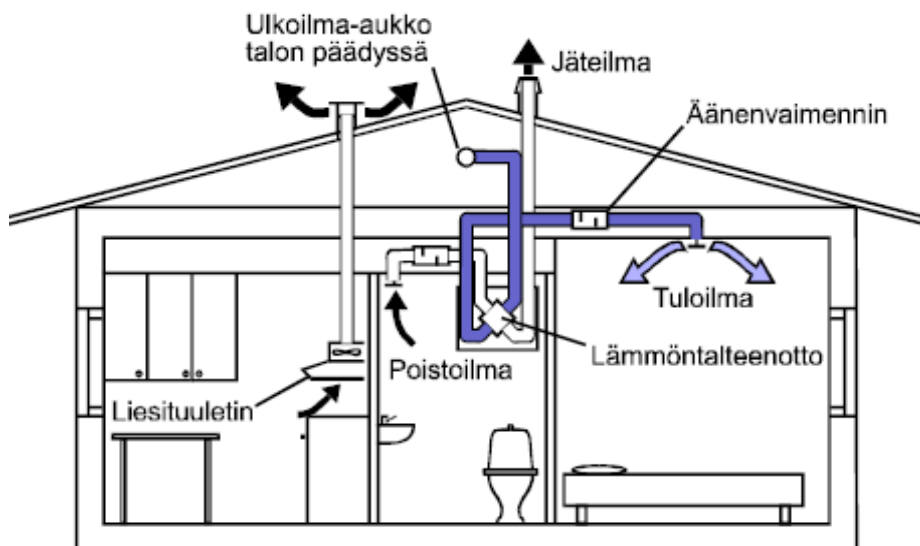
Koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä voidaan toteuttaa täysin hallittu ilmanvaihto rakennukseen. Tässä järjestelmässä sekä tulo- että poistoilmavirtaa johdetaan puhaltimien avulla. Puhaltimien ohjaus tapahtuu rakennusautomaation kautta tai erikoistilanteissa käsikytkimen kautta. Järjestelmässä on lähes aina lämmöntalteenotto (LTO), joka voidaan toteuttaa esimerkiksi levy-, kiekko- tai vesi-glykolia käyttävällä nestelämmönsiirtimellä.

Oikein suunniteltuna ja toteutettuna järjestelmä täyttää voimassa olevat määräykset ilmavirtojen riittävyyden sekä energiataloudellisten vaatimuksien suhteen. Koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien kehityksen kautta on päästy eroon perinteisen ilmanvaihdon huonoista puolista, joita ovat hallitsematon ilmavirtaus, sisäilmaston vaihteleva taso sekä suuri lämpöenergian kulutus johtuen poistoilman lämpöenergian käyttöpotentiaalin käyttämättä jättämisestä.

[1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–9; 21, s. 1–10, 24–27]

Koneellinen tulo- ja ilmanpoistojärjestelmä on selkeärakenteinen, varmatoiminen ja lämmön talteenotolla (LTO) varustettuna energiataloudellinen. Ongelmia saattaa aiheutua laitteiden puutteellisesta ylläpidosta. Esimerkiksi huoneistokohtaisen LTO:n suodattimien vaihto voi jäädä tekemättä jos vastuukysymykset taloyhtiön ja osakkaan välisistä huoltovastuista ovat epäselvät. Jos suodattimia ei vaihdeta ajallaan, ei ilmanvaihto eikä lämmön talteenotto (LTO) toimi suunnitellusti. [26]

Kuvassa 4.4.1 havainnollistetaan koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toteutusta sekä ilmavirtojen kulkureittejä. Kuvan rakennuksessa lämmöntalteenotto on toteutettu levylämmönsiirtimellä. [26]



Kuva 4.4.1. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto [26].

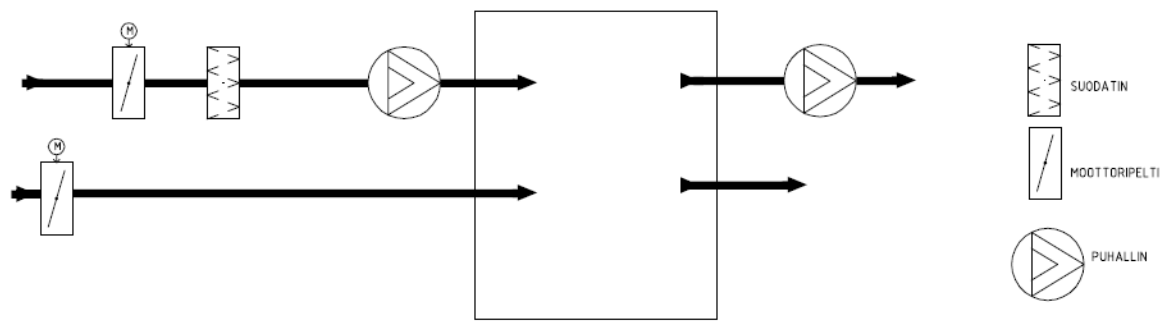
4.5 Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä

Hybridi-ilmanvaihdolla tarkoitetaan luonnollista ilmanvaihtoa, jota on täydennetty apupuhaltimilla. Apupuhaltimia käytetään olosuhteissa, jolloin ilma ei luonnollisella tavalla vaihdu riittävän tehokkaasti.

Ilmanvaihtojärjestelmän tavoitteena on pyrkiä mahdollisimman suurilta osin luonnolliseen ilmanvaihtoon, jossa lämpötilojen erosta johtuva paine-ero sekä luonnollinen tuuli ohjaavat ilmavirtoja ja apupuhaltimia käytetään vain tehostuksen tarpeessa. Ideana on maksimoida luonnollinen ja kustannusvaikutuksiltaan ilmainen ilmanvaihto ja käyttää järjestelmän apupuhaltimia nostamaan paine-eroa vain kun luonnollinen paine-ero on liian pieni ilmavirtojen tarpeeksi tehokkaaseen liikuttamiseen. Seurauksena hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän välitön käyttöenergian kulutus on pienempi kuin koneellisessa ilmanvaihdossa, mutta toisaalta suunnitteluun ja toteutukseen tarvittava panostus on vastaavasti suurempi. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota etenkin huonekorkeuden riittävyyteen, mahdollisuuteen käyttää ilman syrjäytysperiaatetta, painehäviöiden pienuuteen ilman esteettömän kulun varmistamiseksi sekä aukkojen ja piippujen optimaalisiin sijoituksiin. [1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–10.]

4.5.1 Yhdistetty painovoimainen ja koneellinen ilmanvaihto

Järjestelmä on luonnollisen ja koneellisen ilmanvaihdon yhdistelmä. Rakennusautomaatio ohjaa luonnollisen ja koneellisen ilmanvaihdon välillä. Järjestelmä pyrkii ylläpitämään sille asetetun kuormitusprofiilin ilmanvaihdon antureiden ja toimilaitteiden avulla. Kuvassa 4.5.1.1 esitetään kyseinen järjestelmä periaatesäätökaaviona. Esimerkiksi palvelurakennuksen päiväaikaisessa normaalikuormitustilanteessa koneellinen ilmanvaihto on toiminnassa, ja yöllä painovoimainen ilmanvaihto tuulettaa tilat yöjäähdytyksen tavoin. [4, s. 9; 5]



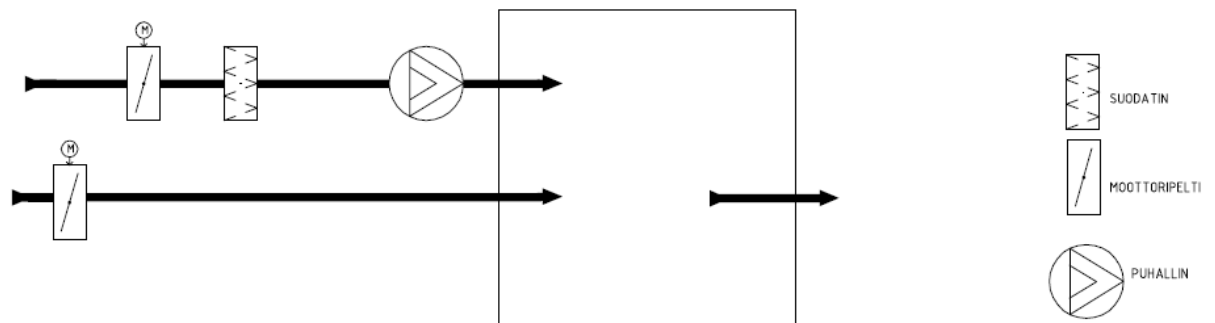
Kuva 4.5.1.1. Periaatekaavio yhdistetystä painovoimaisesta ja koneellisesta ilmanvaihtojärjestelmästä [4].

4.5.2 Puhallinavusteinen painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaista eli luonnollista ilmanvaihtoa avustetaan tässä järjestelmässä tulo- tai poistoilmapuhaltimella. Järjestelmän ohjaus ja säätäminen tapahtuu rakennusautomaation kautta, mikä tarkoittaa puhaltimien käynnistystä joko ilmanvaihdon käyttövoiman ollessa pieni tai ilmanvaihdon tarpeen ollessa normaalikuormitusta suurempi.

[4, s. 9; 5]

Kuvassa 4.5.2.1 havainnollistetaan ilmavirtojen ja toimilaitteiden tarkoitusta puhallinavusteisessa luonnollisessa ilmanvaihtojärjestelmässä.



Kuva 4.5.2.1. Periaatekuva puhallinavusteisesta tuloilmapuhaltimella varustetusta painovoimaisesta ilmanvaihdosta [4].

4.5.3 Painovoimain ja tuulen avustama koneellinen ilmanvaihto

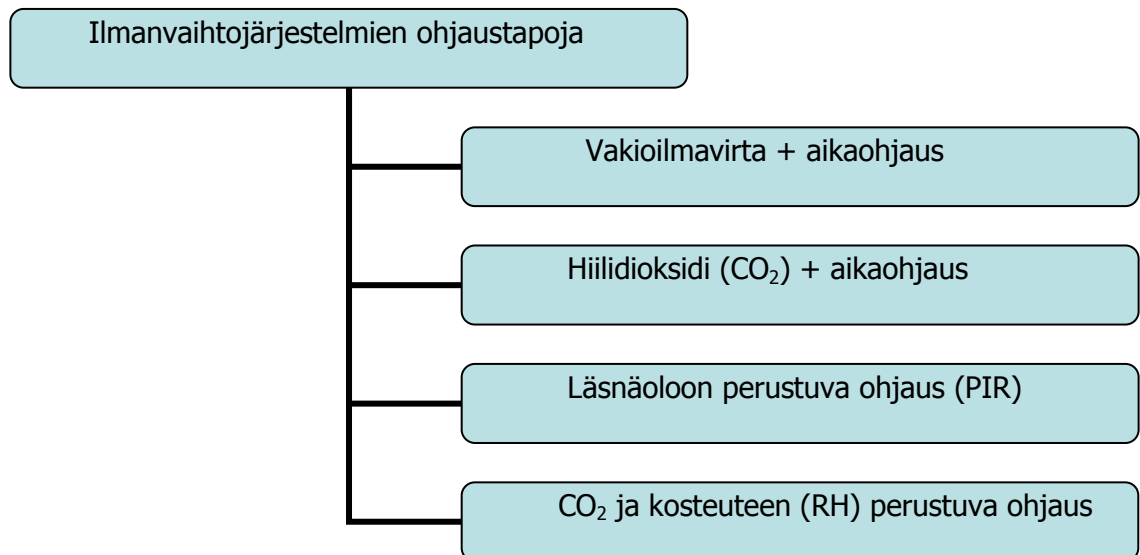
Järjestelmä pohjautuu koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon, joka käyttää hyödyksi painovoimaista ilmanvaihtoa sekä tuulta. Kanavien mitoituksissa tulee huomioida painehäviöt niin, että luonnollisen käyttövoiman osuus saadaan merkittäväksi. Järjestelmän toiminta on muutoin sama kuin kuvassa 4.5.1.1. [4, s. 9; 5]

4.6 Ilmanvaihtojärjestelmien ohjaus- ja säätötavat

Tietotekniikan ja rakennusautomaation kehitys on mahdollistanut ilmanvaihtojärjestelmien monipuolisemmat toteutustavat. Ilmanvaihtojärjestelmiä voidaan simuloida ja optimoida niiden toiminta eri käyttötilanteissa luomalla niille erilaiset kuormitusprofiilit. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaustapoja on monia, joita voidaan soveltaa käyttötarkoituksen mukaan erikseen tai yhdistelemällä niitä. Kuva 4.6.1 havainnollistaa yleisimpiä säätötapoja ja niiden yhdistelmiä.

Tekniikan mahdollistamalla hajautetulla rakennusautomaatiojärjestelmällä ja ohjaustavoilla mahdollistetaan rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän jatkuva optimointi kaikissa rakennuksen tiloissa niiden käyttötarkoituksen mukaisesti.

[1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–9, 23]



Kuva 4.6.1 Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus- ja säätötapoja [21, s. 9–22.]

Vakioilmavirta yhdistettynä aikaohjaukseen on käytössä perinteisimmissä rakennuksissa. Ilmanvaihdon toiminta-aika määritellään rakennuksen käytön mukaisesti, esimerkiksi ilmanvaihtokoneet käynnistetään käyttäjien tullessa töihin kello 8.00 ja pysäytetään heidän lähdettyä työpaikaltaan kello 17.00. Toiminta-aikana puhaltimet käyvät koko ajan samalla nopeudella tuottaen vakioilmavirran. [7; 26]

Kun halutaan ohjata tilan ilmanvaihtoa energiatehokkaammin ja käytön mukaan, voidaan ilmanvaihdon ohjaus toteuttaa hiilidioksidi (CO₂) antureilla sekä aikaohjauksella. Kummankin ohjaustavan parametreja asettelemalla voidaan vaikuttaa reaaliajassa ha-

lutun tilan ilmanvaihtoon. Tilan ilmanvaihto voidaan käynnistää vaikka perusilmanvaihdolla työpäivän alkaessa kello 8, jolloin ilmanvaihto toimii esimerkiksi 20 %:lla täydestä tehosta. Käyttäjien tullessa paikalle ja hiilidioksidipitoisuuden noustessa yli CO₂-anturin asetteluarvon, välittyy tieto ilmanvaihdon tehostamistarpeesta rakennusautomaatioon, joka ohjaa ilmanvaihtokoneen puhaltimia nostamaan toimintapistettä kuormitusprofiilin mukaisesti.

Tämä ilmanvaihdon toteutustapa on käyttökuluiltaan energiatehokas, koska puhaltimet käyvät vain tarpeen mukaan. Mikäli halutaan tehostaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta, korvataan aikaohjaus läsnäoloon perustuvalla ohjauksella PIR (passive infra red). Tällöin ilmanvaihto käynnistyy vasta ensimmäisen henkilön tullessa läsnäolutunnistimen valvonta-alueelle.

Erityistiloja, kuten laboratoriotiloja, suunniteltaessa voidaan edellä mainittuja ohjaustapoja soveltaa ja muokata tilojen erityistarpeiden mukaan sekä täydentää ohjausta, esimerkiksi ilman kosteuteen (RH, relative humidity) reagoivilla antureilla. [26]

4.7 Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän energiataloudelliset säästöt

Energiansäästö tulee esille pääosin sähköenergian säästönä, sillä apupuhaltimet käyvät vain rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjen erilaisten antureiden ohjaamina tai järjestelmän käsikäyttö-tilanteessa.

Voimassa olevan Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrittelee, että rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta talteenotettavan lämpömäärän tulee olla vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Tämä lämpöenergiatarpeen pienentäminen voidaan myös toteuttaa muilla tavoin, kuten parantamalla rakennuksen vaipan lämmöneristystä, parantamalla rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä tai vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muulla tavalla kuin poistoilman lämmön talteenotolla.

Hybridi-ilmanvaihdossa ei käytännössä voida käyttää lämmöntalteenottoa (LTO), koska sen aiheuttama painehäviö nostaa paine-eron kanavistossa niin suureksi, että painovoimainen ilmanvaihto ei enää toimi. Tällöin apupuhaltimia pitäisi käyttää LTO:n takia koko ajan, jolloin kyse olisi koneellisesta tulo- tai poistoilmajärjestelmästä.

[1, s. 9–20; 2, s. 1–10; 3; 4, s. 6–9.]

5 Rakennusten aurinkosähköjärjestelmät

5.1 Aurinkoenergia

Auringosta maahan tunnin kuluessa saapunut energia on enemmän kuin koko maailmassa käytetään energiaa vuodessa. Tämän ehtymättömän energianlähteen käyttö jokapäiväisessä sähköntuotannossa on tämän päivän ja tulevaisuuden suuri haaste. [12]

Aurinkoenergia on käsitteenä hyvin laaja ja näin ollen tällä termillä voidaan tarkoittaa auringosta saatavan energian käyttökohteesta riippuen useampaa asiaa. Näitä aurinkoenergian eri ilmenemismuotoja ovat valo, lämpö ja säteily, joista valo ja säteily ovat kiinnostavimpia sähkötekniillisessä mielessä. [1; s. 7–17, 51–52, 115–116.]

Auringossa tapahtuva reaktio on fuusio, jossa kaksi vetyatomia kaikkine partikkeleineen yhtyy yhdeksi helium-atomiksi vapauttaen samalla suuren määrän energiaa. Auringossa tapahtuvan reaktion käänteisreaktiota eli fissiota, jossa hajotetaan raskaita atomeja vapauttaen energiaa, käytetään atomivoimaloissa, kansankielessä ydinvoimaloissa. Auringossa tapahtuvan fuusion vapautuvaksi energiamääräksi on laskelmoitu 180 miljoonaa kWh sekunnissa, joka vastaa noin 27 000 kivihiilitonnin käyttämistä polttoaineena lauhdevoimalaitoksessa. Valtavan suurta energian muodostusta kuvaa osaltaan se, että yhden vetygramman lämpöarvo vastaa 27 tonnia hiiltä. [1, s. 10.]

5.2 Auringon teho ja säteily

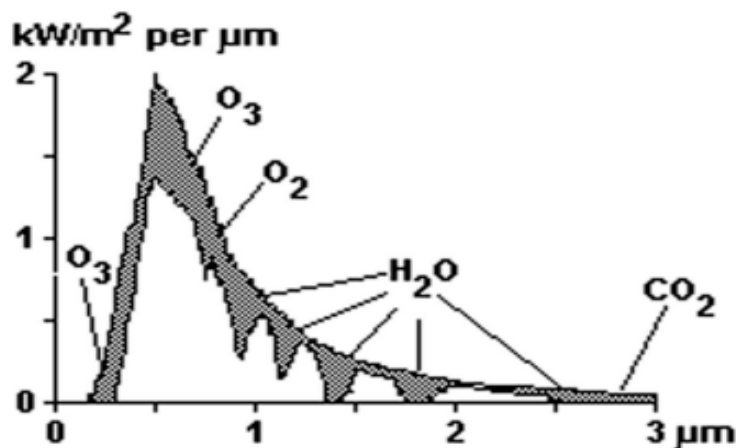
Auringossa tapahtuvan fuusion on laskelmoitu antavan $3,8 \cdot 10^{23}$ kW:n kokonaistehon, josta noin $1,7 \cdot 10^{14}$ kW pääsee maapallolle asti. Tämä on noin 20 000 kertaa koko maapallon teollisuuden ja lämmityksen käyttämä teho vuonna 2008. Aurinkovakioksi

kutsutaan auringosta maapallon ilmakehää vastaan kohtisuorassa tulevalle 1 m^2 pinnalle lankeavaa auringonsäteilyä. Tämän arvo vaihtelee välillä 1,35–1,39 kW.

[1, s. 10–17.]

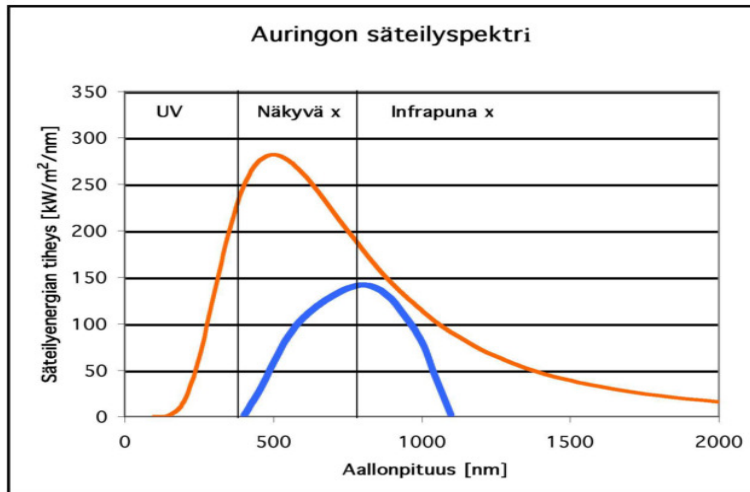
Maanpinnalle tuleva säteily voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin, joita ovat suora auringon säteily, haja-auringonsäteily (diffuusinen) sekä ilmakehän vastasäteily. Tällä jaolla esitetään ilmakehän läpi pääsevän auringon säteilyn voimakkuutta ja sen suhdetta sitä heikentäviin asioihin.

Kuten kuva 5.2.1 osoittaa, säteily vaimenee osaltaan Otsoni molekyyliden (O_3) johdosta (UV-säteily, 100–380 nm) sekä vesihöyry- (H_2O) ja hiilidioksidi (CO_2) -molekyyliden johdosta (infrapunasäteily, 700 nm – 1 mm). [1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12] Kuva 5.2.1 esittää myös tarkemmin kuinka ilmakehän kaasut vaimentavat auringon säteilyn eri aallonpituuksia.



Kuva 5.2.1. Auringon säteilyn vaimentuminen ilmakehän kaasujen vaikutuksesta [12].

Suoran säteilyn merkitys on luonnollisesti suurin, mutta hajasäteilylläkin on huomattava merkitys kokonaisenergian kannalta. Aurinkoisella säällä hajasäteilyn osuus on noin 30 %, puolipilvisellä säällä 70 %:n ja täysin pilvisellä säällä täydet 100 %, jolloin suoran säteilyn merkitys 0 %. Tästä syystä esimerkiksi rannalla, voimakkaan hajasäteilyn läheisyydessä, voivat aurinkopaneelit tuottaa jopa 20 % enemmän sähköenergiaa kuin muissa asennuspaikoissa. [1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12] Kuvassa 5.2.2 havainnollistetaan aurinkokennon absorptioaluetta auringon säteilyspektriin.



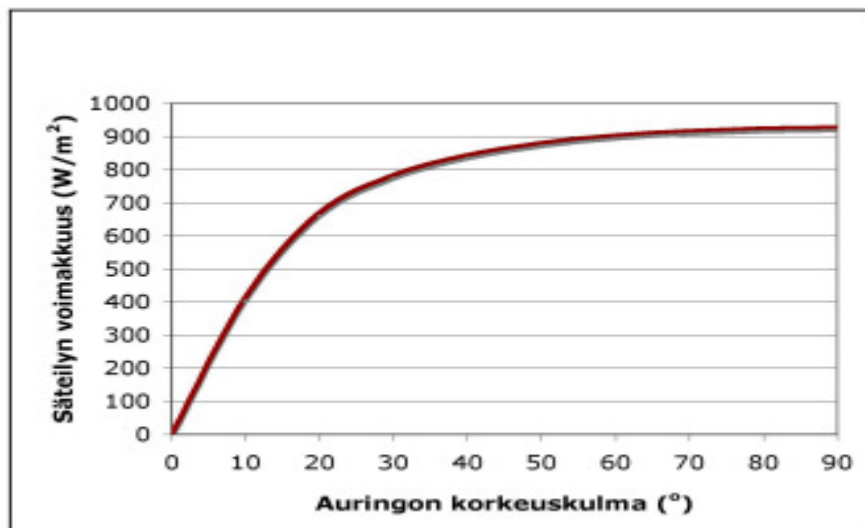
Kuva 5.2.2. Auringon säteily spektrin muoto sekä piikennon absorptioalue (sininen käyrä) [12].

Auringon säteilyn voimakkuus on pienimmillään horisontin läheisyydessä eli auringon noustessa tai laskiessa, koska tällöin valolla on pisin mahdollinen matka ilmakehässä ja säteily ehtii absorboitua ilmakehän molekyyleihin. Kuvassa 5.2.3 esitetään, kuinka auringon säteilyn voimakkuus muuttuu auringon korkeuskulman muuttuessa. Säteilyn voimakkuus pystytään määrittelemään seuraavasta yhtälöstä kokeellisesti.

$$I = 1100 \frac{W}{m^2} e^{\frac{-0,17}{\sin \alpha}}$$

α on auringonkorkeuskulma horisontin yläpuolella

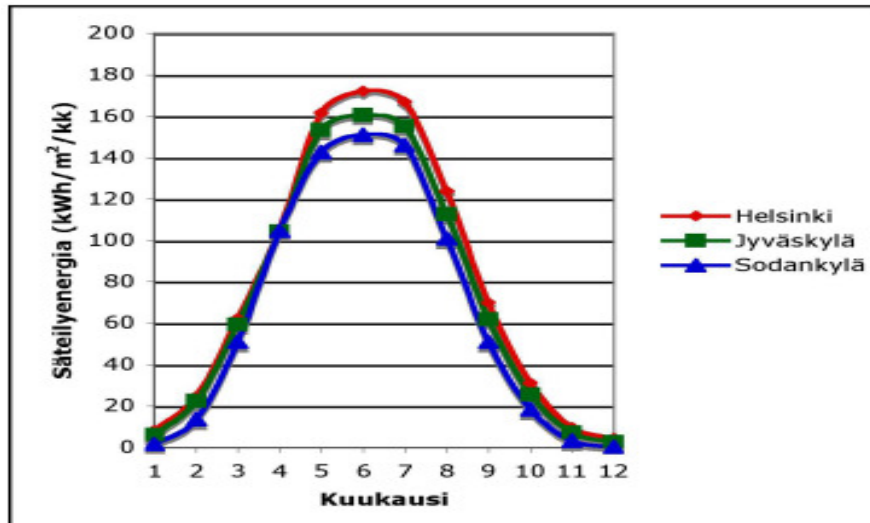
[12]



Kuva 5.2.3. Auringon säteilyn vaimentuminen ilmakehän paksuuden vaikutuksesta. [12].

Suomessa aurinkoenergian hyödynnettävyys on huipussaan auringon säteilyn ollessa voimakkaimmillaan loppukevään ja keskikesän välisenä aikana, touko-heinäkuussa.

Tällöin Helsingissä kohtisuoralle pinnalle on mahdollista saada jopa 160–170 kWh/m², kk säteilyenergiaa, kun marras-tammikuussa vastaava säteilyenergia on alle 30 kWh/m²,kk. Tämä tarkoittaa parhaimmillaan noin 170 kWh saatavaa energiaa yhden m²:n aurinkopaneelista vuoden ajanjaksolla. Muualla Suomessa arvot ovat hiukan pienempiä, kuten kuvassa 5.2.4. Suomen säteily- ja paistetuntitietoja kerää Ilmatieteenlaitos, jonka verkkosivuilla on mahdollista vertailla tietoja eri paikkakuntien välillä. [12]

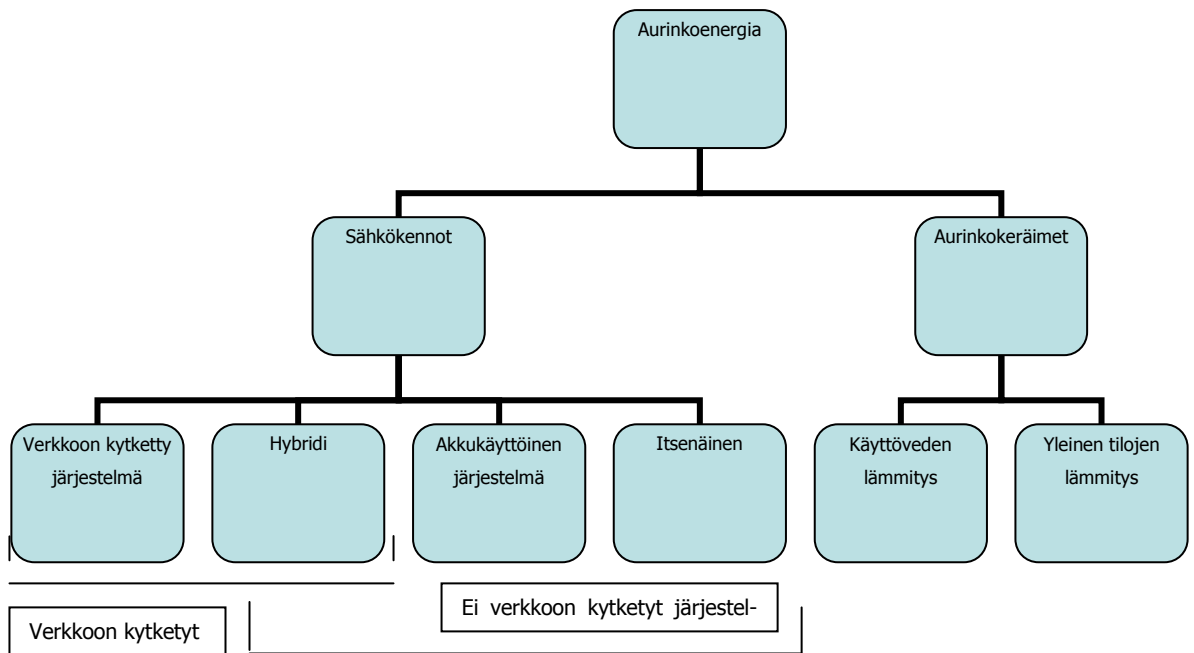


Kuva 5.2.4. Kuukausittain aurinkosäteilyn määrä vuosina 1971–2000 [12].

5.3 Aurinkoenergian käyttösovelluksia

Aurinkoenergian käyttökohteita on useita, mikä tekee tästä primäärienergian muodosta hyvin käyttökelpoisen lisäenergian muun muassa kotitalouksille.

Aurinkolämpökeräimistä johdetaan auringosta saatava lämpösäteily esimerkiksi rakennuksen lämminvesivaraajalle, joka lämmittää käyttöveden. Näin säästetään kaukolämpö- tai sähkölaskussa rakennuksesta riippuen. Sähkökennoilla puolestaan muutetaan auringon säteily sähköenergiaksi, jolloin saatu sähkö syötetään verkkoon tai varastoidaan akkuihin. [14] Kuvassa 5.3.1 havainnollistetaan aurinkoenergian erilaisia käyttösovelluksia asian selkeyttämiseksi.



Kuva 5.3.1. Aurinkoenergian käyttösovellukset [1; 12].

Aurinkosähkön kehitys on ollut huomattavaa Keski- ja Etelä-Euroopan valtioissa, joista Saksa on tämän hetken edelläkävijä aurinkosähkön tuotannossa. Valoisien vuorokausien johdosta Etelä-Euroopassa on loistavat edellytykset käyttää pienemmissä sähköisissä sovelluksissa, kuten varoitusmerkeissä, akustolla toimivaa keräävää aurinkosähköenergiaa. Keräävä aurinkosähköenergia lataa akustoa päivällä saatavasta auringon säteilystä ja kuluttaa varastoitua energiaa yöllä varoitusten ollessa tarpeellisia.

Tätä sovellusta käytetään hyvin paljon Italian maanteillä, jonne ei ole kustannustehokkaasti mahdollista rakentaa tarpeellisia jyrkännevaroituksia. [18, s. 14–16.]

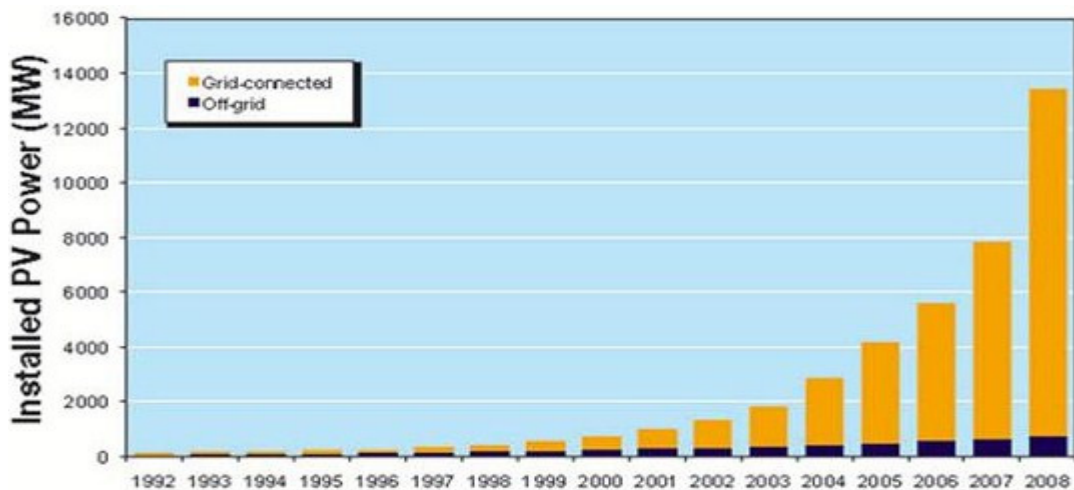
Aurinkosähkön potentiaali on huomattu jo monessa käyttötarkoituksessa, yleisimmät käyttökohteet Suomessa ovat toistaiseksi vapaa-ajan asunnot, joihin on kustannusten johdosta kannattamatonta tuoda verkkosähköä. Etelä-Euroopassa, kuten Espanjassa, aurinkosähköä on alettu käyttää toimistorakennuksissa tasaamaan rakennuksen sähkönkäytön huippua keskipäivällä sähkön korkean tariffin aikaan. Tällä tavoin rakennuksen omistaja tai vuokralainen säästää sähkökustannuksissa sähkön hinnan ollessa korkeimmillaan ja hyötyy myymällä mahdollisen tarpeettoman sähkön verkkoon. [12]

5.4 Aurinkosähkömarkkinat ja kehitys

Vaikka aurinkosähkön osuus on tänäkin päivänä vain noin 0,1 % maailman kokonais-sähkön tuotannosta, on aurinkosähkö nopeimmin kasvava sähköntuotannon tapa. Euroopan johtava aurinkosähkötekniikan kehitysmaa on alusta alkaen ollut Saksa, jota Espanja ja Italia ovat seuranneet.

Tänä päivänä nopeimmin kasvava aurinkosähkön käyttäjä on Kiina, jossa aurinkosähkön markkinat kasvoivat 30 % eli 1400 MW_p vuosina 2007–2008. Alkujaan aurinkosähkön hyödyntämiseen tarvittavan laitteiston investointikustannukset ovat olleet suurin ongelma alun kasvun kankeuteen. Ajan saatossa kehittynyt halvempi kennoteknologia on halventanut järjestelmien kustannuksia sille tasolle, että jopa yksityiskuluttajilla on mahdollisuus investoida pienempiin aurinkosähköjärjestelmiin vapaa-ajan asuntoihin. Yksityiskuluttajien kiinnostusta ympäristöystävälliseen aurinkoenergian käyttöön yrittään avustaa erilaisin keinoin. Esimerkiksi Saksassa on käytössä niin sanottu ”syöttötä-riffi”, joka velvoittaa sähköyhtiöt ostamaan kuluttajien ylimääräisen aurinkosähkön tuotannon kiinteällä hinnalla. [1, s. 9–17; 2, s. 27–29; 8, s. 10–12; 12; 14, s. 2.]

Kuvassa 5.4.1 selviää aurinkoenergian käytön lisääntyminen vuodesta 1992 vuoteen 2008.



Kuva 5.4.1. Kumulatiiviset verkkoon kytkettyjen ja hajautettujen järjestelmien asennukset eri vuosina maailmassa. IEA PVPS raportointimaissa [12; 15].

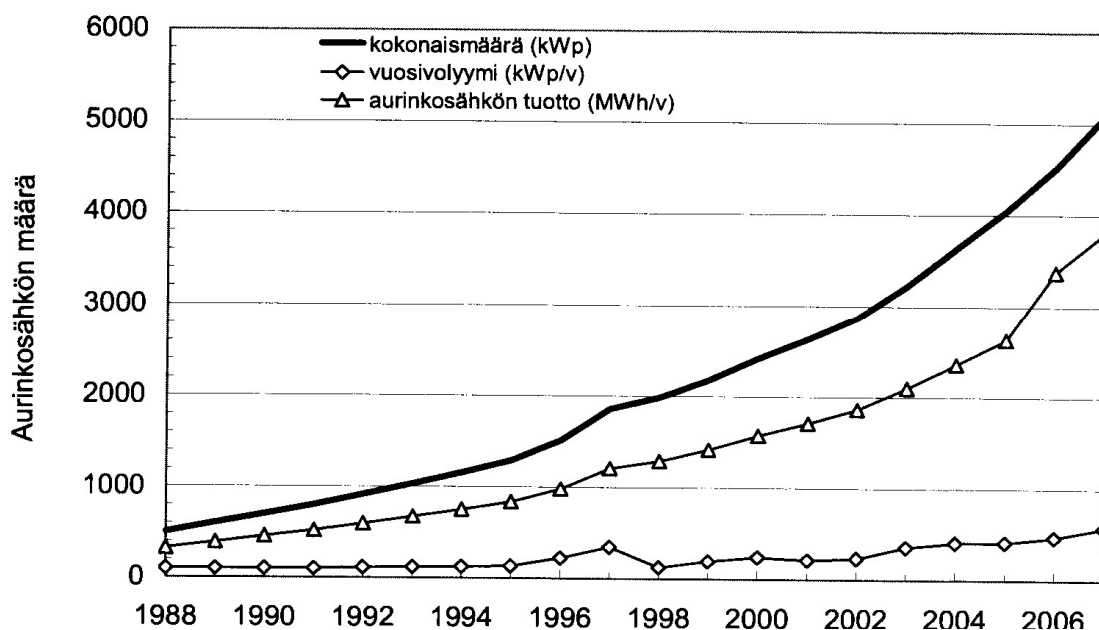
(Grid-connected = verkkoonkytketty; Off-grid = verkkoon kytkemätön)

Suomessa aurinkosähkömarkkinat ovat toistaiseksi hyvin pienet. Suomen aurinkosähkömarkkinat ovat noin 0,05 % koko maailman volyymista, työllistäen noin 70 vakituista

henkilöä arviolta 8 miljoonan euron liikevaihdolla vuonna 2006. Kuva 5.4.2 selvittää Suomen markkinoiden kehittymistä. [12; 14 s.11.]

Nykyisin tilanne on kohentumaan päin, mutta mitään suurta suunnan muutosta ei ole vielä havaittavissa. Osasyitä tähän ovat käytännön läheisyyden puuttuminen, vaikka tutkimustoiminta on maailman huippua. Tästä johtuen olemme jumiutuneet niin sanoituille ”mökkimarkkinoille”. Toisena merkittävänä hidasteena on ollut pitkään lähes ratkaisematon kysymys energia-avustuksista, niiden myöntämisperusteista sekä avustusten suuruuksista.

Tällä hetkellä Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista (1313/2007) määrittelee tuen enimmäismääräksi 40 % investointeihin liittyvissä selvityshankkeissa, kun energiahuoltoa ja monipuolisuutta edistävissä investointihankkeissa tuen määrä on vain 25 %. Edellä mainittujen tukien suuruudet ovat siis enimmäismääriä ja ovat näin ollen tapauskohtaisia – eivät itsestäänselvyyksiä. [12; 14 s.11; 24, s. 2.]



Kuva 5.4.2. Aurinkosähkömarkkinoiden kehittyminen, asennettu huipputeho (kW_p) vuosina 1988–2007 [12].

Aurinkosähkön kehitystä ja energiapotentiaalin käyttöönottoa useimmissa käyttötarkoituksissa edesauttaa aurinkosähköteknologian halpeneminen. Esimerkiksi käytetyimmän piiteknologian hinnat romahtivat yli 30 % vuoden 2009 laman seurauksena. Muita aurinkosähköteknologioita ovat ohutkalvot sekä uudet materiaalit, kuten epästabiilit väriaineherkistetyt polymeerit, jotka ovat lähinnä kehitysasteella. [18, s. 14–16.]

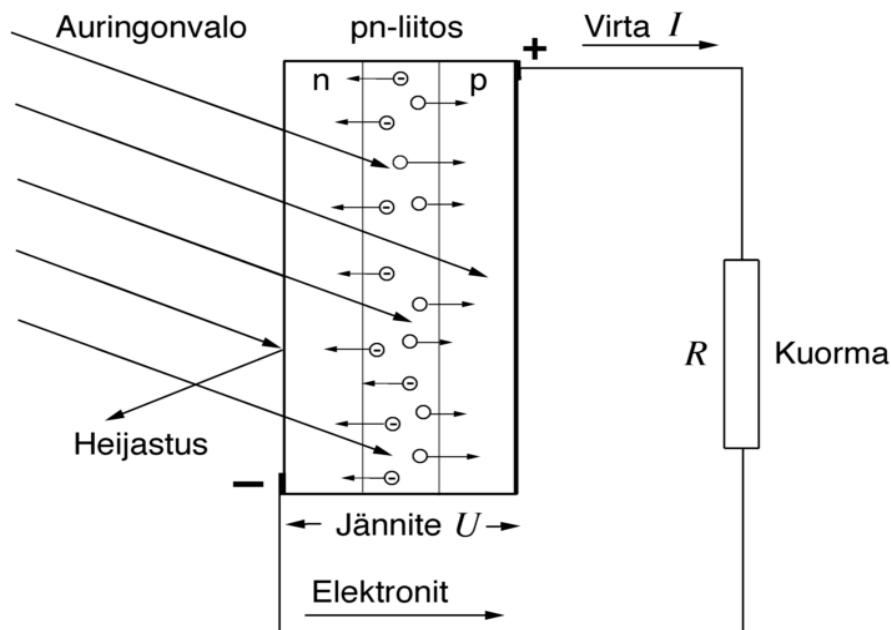
Toistaiseksi aurinkosähkön hinta ei ole kilpailukykyinen verkkosähkön kanssa, lukuun ottamatta kesämökkialueita, jonne verkkosähkön tuominen aiheuttaisi moninkertaiset investoinnit aurinkosähköjärjestelmään verrattuna. [14 s. 19–20.]

5.5 Aurinkosähköjärjestelmän komponentit

5.5.1 Aurinkokenno

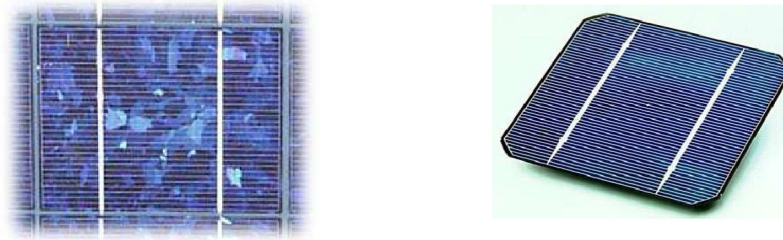
Käsiteltäessä aurinkosähköjärjestelmää on aurinkokenno pienin järjestelmän osa. Aurinkokenno on tänä päivänä puolijohdemateriaalista, yleensä piistä (Si), valmistettu partikkeli, joka johtaa sähköä säteilyn osuessa siihen. Se koostuu kahdesta puolijohdekerroksesta, joiden välillä on rajapinta (kuva 5.5.1.1), joka erottaa näiden kerrosten sisäänrakennetut ominaisuudet toisistaan. Näitä eri kerroksia kutsutaan n-tyypiksi (negatiivinen), jossa elektronit kasaantuvat ja p-tyypiksi (positiivinen), jossa on tyhjiä aukkoja.

Kuvassa 5.5.1.1 esitetään, kuinka rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. Ne kulkevat ulkoisen johtimen kautta p-tyypin puolijohteeseen, jossa ne vasta voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on siten jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, ja liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä. [1, s. 120–121; 12]



Kuva 5.5.1.1. Aurinkokennon toimintaperiaate [12].

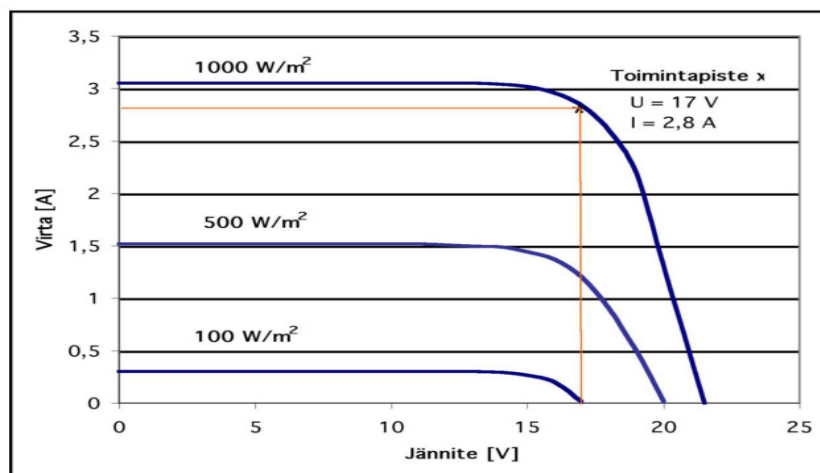
Aurinkokenno on kooltaan yleensä noin 10 x 10 cm, paksuudeltaan 0,1–0,4 mm ja se tuottaa ihanteellisessa auringon säteilytilanteessa 0,5 V:n jännitteen ja 3 A:n virran lämpötilassa 25°C. Kuvassa 5.5.1.2 esitetään monikiteisen ja yksikiteisen piikennon rakenteet. Hyötysuhteet piikkenojen valmistus- ja pinnoitustavasta riippuen ovat 18–31 %. [1, s. 120–121; 12]



Kuva 5.5.1.2. Monikiteinen ja yksikiteinen piikkenno [12].

5.5.2 Aurinkopaneeli

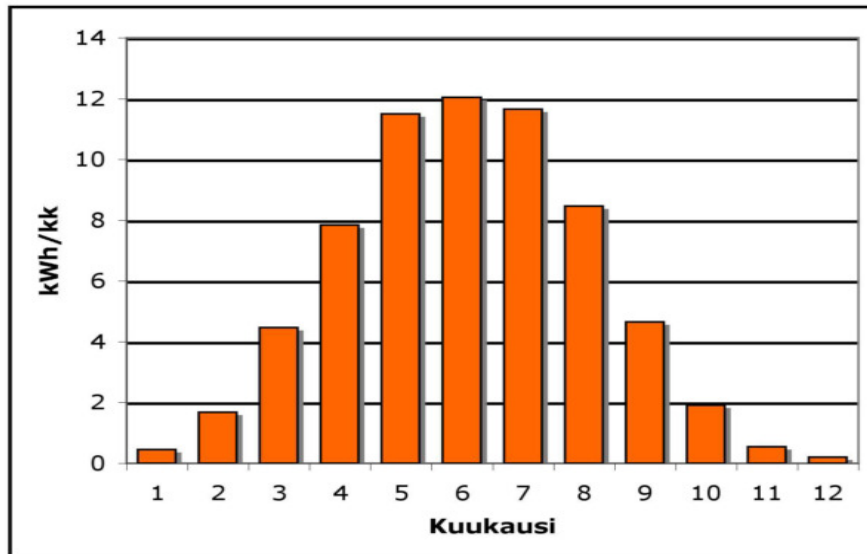
Aurinkopaneeli koostuu edellä esitetyistä aurinkokennoista, joita yhdistelemällä sarjaan ja rinnan saadaan halutun tehoinen aurinkopaneeli. Yleensä näitä kennoja tekniikasta riippuen yhdistellään 30–36 kappaletta, jolla saadaan aikaiseksi yleisimmin käytetty 12 V:n jännite. Tällöin aurinkopaneelin pinta-ala vaihtelee välillä 0,3–0,36 m² tuottaen noin 3 A:n virran. Kuvassa 5.5.2.1 havainnollistetaan 50 W_p aurinkopaneelista saatavaa virtaa eri säteilyvoimakkuuksilta. Kuvasta voidaan laskea aurinkopaneelin optimi toimintapiste, $P = UI$, 47,6 W, joka on 95,6 % aurinkopaneelin nimellistehosta. [1, s. 126; 2, s. 24–25.]



Kuva 5.5.2.1. 50 W_p:n aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla (W/m²) lämpötilassa 25°C [12].

Kuva 5.5.2.2 selvittää 50 W_p aurinkopaneelin energian tuotantoa kuukausitasolla Suomessa. Aurinkopaneelien testaukset suoritetaan NOTC-standardien (normal operating temperature climate) mukaisissa olosuhteissa 25 °C lämpötilassa.

[1, s. 126; 2, s. 24–25.]



Kuva 5.5.2.2. 50 W_p:n paneelin laskennallinen tehontuotto [12].

5.5.3 Akusto

Akustoa käytetään yleisimmin ympärivuorokautista aurinkosähköjärjestelmää käytettäessä. Akustoon varattavalla aurinkosähköpaneeliston tuottamalla energialla voidaan tällä tavoin tasoittaa sähköjärjestelmän kulutuspiikkejä, joita syntyy muun muassa auringon ollessa pilvessä.

Akku on sähkökemiallinen energiavarasto, joka ladattaessa muuntaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi ja purettaessa varausta kuormaan muuntaa kemiallisen energian takaisin sähköenergiaksi. Akku kootaan kytkemällä sarjaan jännitteeltään noin 2 V:n sähkökemiallisia kennoja. Akkujen yleisimmät nimellisjännitetasot ovat 6 V, 12 V ja 24 V, joista 12 V on yleisin talotekniikassa. [9, s. 16; 12]

5.5.4 Lataussäädin

Lataussäädintä käytetään akullisen aurinkosähköjärjestelmän kanssa. Säädin asennetaan aina aurinkopaneeliston ja akuston väliin. Sen tehtävänä on valvoa akuston optimaalista latautumista; täydellä teholla akkujen tarvitessa varausta ja absorptio- ja yllä-

pitolatausta vakiojännitteellä, siten etteivät akut tule yllädatuiksi, missä piilee aina räjähdysvaara.

Nykypäivän lataussäätimissä on myös estodiodi, jolla estetään akun kannalta väärä purkautumisvaihtoehto, jolloin säteilyn pienentyessä akku purkaisi itseään kohti aurinkopaneelistoa tasapainottaakseen tarvittavan sähköjärjestelmän tehotason. Tämän myös suunnanestodiodiksi kutsutun komponentin jännitteen kestoisuuden tulee olla kaksinkertainen paneelin kokonaisvirtamäärään nähden. [1, s. 120–130; 12]

Nykypäivän lataussäätimiin upotetaan yleensä myös MPPT (maximum power point tracking) -säädin, joka hakee aurinkopaneelin jännite-virta (UI) -käyrästä tehollisesti maksimipisteen (kuva 5.5.2.1); Jännite (V) x Virta (A) = Teho (W). Yleisesti tavanomaisessa 12 V:n aurinkopaneelissa tämä piste osuu 17–17,5 V kohdalle. Vertailukohteenä on paneeli, jossa ei ole MPPT-säädintä, vaan vanhempi PWM-säädin (Pulse-width modulation). Jos PWM - säädin joutuisi tuottamaan energiaa akun jännitteen mukaan esimerkiksi 11 V, tuottaisi se ainoastaan 11/17,5 eli 62 % nimellistehostaan. MPPT-säätimellä varustettu säädin pystyy sen sijaan ottamaan tästä tilanteesta 24–35 % enemmän tehoa.

Toisena hyötynä on, että paneelien virta voidaan tuoda sisään paljon korkeammalla jännitteellä pienemmissä sarjaan kytketyissä paneeleissa, kun paneelit on sijoitettu kauemmaksi energian kulutuskohteesta. Toisin sanoen MPPT-säätimestä saatavan suuren jännitteen avulla voidaan kompensoida suuremman välimatkan aiheuttamat häviöt energiansiirrossa. [1, s. 120–130; 12]

5.5.5 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosähköverkkoon kytketyt järjestelmät tarvitsevat vaihtosuuntaajaa, jotta aurinkopaneeleista tuotettu tasavirta (DC) saadaan muutettua kulutuslaitteille käyttökelpoiseen muotoon eli vaihtovirraksi (AC). Tällaisia järjestelmiä ovat yleisesti hybridisähkötaloudet, joissa tuotetaan osa omasta tarvitsemasta sähköenergiasta aurinkopaneeleilla ja ollaan samaan aikaan yhteydessä valtakunnalliseen sähköverkkoon. Vaihtosuuntaajan etuja ovat sen edullisuus sekä vaihtosähköjärjestelmissä käytettävien laitteiden edullisuus tasavirtalaitteisiin verrattuna.

Nykyiset vaihtosuuntaajat sisältävät luvussa 5.5.4 esitetyn MPPT-laitteen, joka pyrkii vaikuttamaan aurinkopaneelista tuotettavaan tehoon ja pitämään sen koko ajan maksimissaan. Laite pyrkii asettelemaan aurinkopaneelin toimintapisteen teoreettiseen maksimiin asetusarvojen ja sille välittyvän mittaustiedon perusteella. Aurinkopaneelit rakentuvat aurinkokennoista, joiden maksimitehopiste on noin 0,5 V. Yksi aurinkokenno tuottaa tasaisesti noin 3 A:n virran 25 celsiusasteen lämpötilassa toimiessaan maksimitehopisteessä. [1, s. 121–128; 2]

5.6 Aurinkosähköjärjestelmän rakenne ja tyypit

Aurinkosähköjärjestelmät suunnitellaan ja toteutetaan kiinteistökohtaisesti rakennuksen käyttötarkoituksen ja järjestelmästä haluttavan tehon ja hyödyn mukaan. Järjestelmät koostuvat aurinkopaneeleista, johdotuksista ja avustavista tehonsyöttöjärjestelmistä.

Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa erilaisin kriteerein (kuva 4.6.1), joista yleisimmät ovat verkkoon kytketyt ja itsenäiset järjestelmät.

Verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä on kiinteistöissä, joihin on asennettu olemassa olevan sähköliittymän lisäksi aurinkopaneeleita joko pienentämään sähkön huipputehon ostotarvetta tai lisäämään kiinteistön energiatehokkuutta. Hybridiaurinkosähköjärjestelmällä tarkoitetaan kiinteistön sähköjärjestelmää, jossa aurinkosähköjärjestelmän sähköenergian tuotantoa pyritään käyttämään primäärienergian lähteenä ja verkkosähkö otetaan käyttöön vasta kuormituksen ylittäessä aurinkosähköjärjestelmän kapasiteetin.

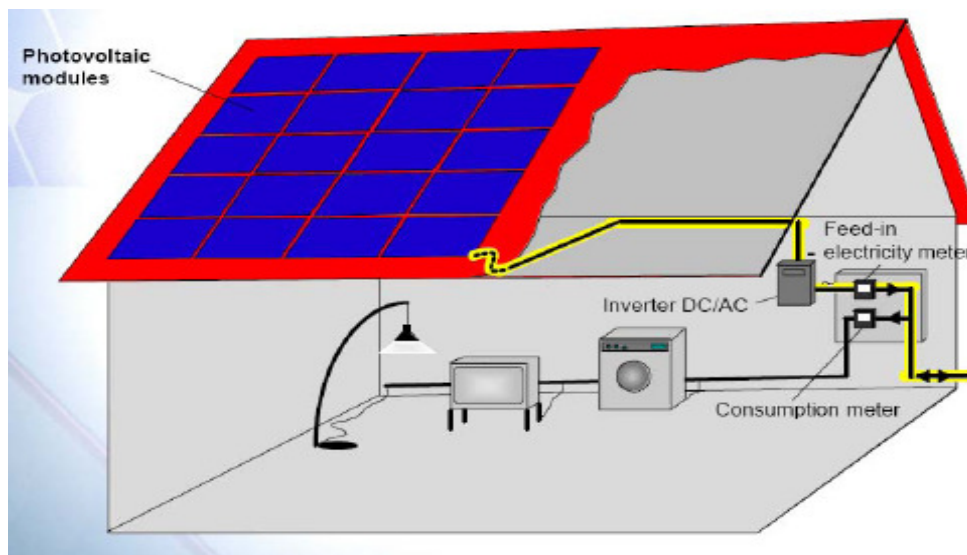
Autonomisesta tai itsenäisestä aurinkosähköjärjestelmästä puhuttaessa tarkoitetaan järjestelmää, joka ei ole kytkeytynyt sähköverkkoon. Tällaisessa järjestelmässä sähkön tuotanto tapahtuu vain aurinkopaneeleilla. Autonomisia aurinkosähköjärjestelmiä käytetään yleensä paikoissa, jonne kustannussyistä on kannattamatonta viedä verkkosähköä. Itsenäinen aurinkosähköjärjestelmä on mahdollista toteuttaa akuilla tai akuilla, käyttötarkoituksesta riippuen. Esimerkiksi maaseudulla olevien pohjavesipumppujen sähkönsyöttö voidaan toteuttaa ilman akkuja, koska pumppujen ei tarvitse olla jatkuvasti toiminnassa vaan riittää että ne toimivat jaksoittain. Akullista järjestelmää puolestaan tarvitaan kohteissa, joissa laitteet tarvitsevat jatkuvasti sähköä toimiakseen tarkoituksen mukaisesti.

Suurien kiinteistöjen autonomiset aurinkosähköjärjestelmät ovat tulevaisuuden haaste, koska aurinkosähköjärjestelmien tuotannon jakautuminen voi olla hyvinkin epätasaista. Lisäksi kiinteistöjen sähköenergian jatkuva tarve on haasteellista toteuttaa. Muita ongelmia ovat sähköön varastoinnin haasteellisuus niin kannattavuuden kuin akustojen vaatiman tilantarpeen näkökulmista. [1, s. 130–140; 9; 12]

Kuvassa 5.6.1. havainnollistetaan verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ja niiden väliset yhteydet. Kuvassa 5.6.1 oleva inverter DC/AC (vaihtosuuntaaja) muuntaa aurinkopaneeleiden tuottaman tasasähköä kiinteistön 400 V:n vaihtosähköverkkoon.

Sähköverkkoon kytketty aurinkosähköllä varustettu kiinteistö pyrkii käyttämään primäärienergian lähteenä aurinkopaneeleiden tuottamaa sähköä ja vasta kulutuskuorman ylittäessä aurinkopaneeleiden sähköntuoton kapasiteetin se käyttää verkkosähköä. Jos aurinkosähkölaitteisto on varustettu akuilla, myös niihin varastoitunutta sähköenergiaa käytetään hyväksi ennen verkkosähköä. Akkujen ylläpidossa tulee noudattaa valmistajan ohjeita akkujen mahdollisimman pitkän käyttöiän varmistamiseksi.

[18, s. 6.]



Kuva 5.6.1. Sähköverkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä [18, s. 6].

5.7 Hyötysuhde

Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhde on käsitteenä hankala, koska siihen vaikuttaa monta tekijää. Teoreettisesti tarkasteltuna aurinkopaneelin hyötysuhde saadaan, kun

tuotettua sähköenergiaa verrataan aurinkopaneelin pinnalle osuvan aurinkosäteilyn kokonaisenergiaan. Kuvasta 5.7.1 voidaan arvioida aurinkoisen päivän keskimääräiseksi hyötysuhteeksi noin 7 % huipun ollessa noin 14 %. Aurinkopaneelien valmistajat ilmoittamat paneeleilleen yleensä hyötysuhteeksi 12–15 %. [12]



Kuva 5.7.1. Järjestelmän hyötysuhde 50 W_p:n aurinkopaneeleilla [12].

Aurinkosähköjärjestelmästä on saatavissa noin 65 % teoreettisesta maksimienergiasta Suomessa, mikäli aurinkopaneelien suuntaus on toteutettu oikein sekä kaikki muut tuotantoa laskevat tekijät on huomioitu. [12]

5.8 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

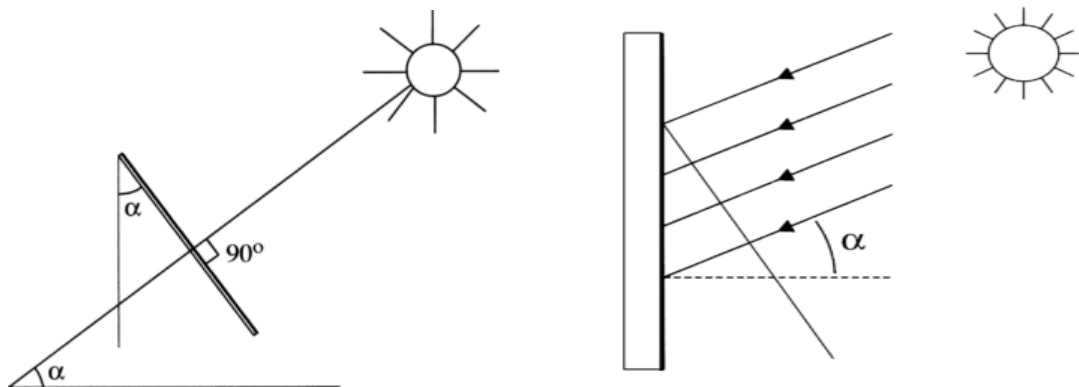
Järjestelmän suunnittelussa tulee huomioida paneelien sijoitus niin, että aurinkopaneelien pinnalle saadaan mahdollisimman paljon auringon säteilyä. Lähtökohtana on esteetön asennuspaikka sekä 5 000–6 000 W säteilyenergiaa aurinkopaneelin neliötä kohti vuorokaudessa. [1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12]

Paneelien oikea suuntaus on myös tärkeää, jotta niihin osuvat auringon säteet voidaan optimoida. Paneelin suuntaus tulee valita maksimaalisen tuoton mukaan eli tilanteesta riippuen, ei suinkaan vanhan pyramidimallin mukaisesti, jossa suunnataan aina suoraan etelään. [1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12; 19]

Aurinkopaneelien suuntautumisesta puhuttaessa tarkoitetaan kahta keskeistä asiaa, joista ensimmäinen on kallistuskulma (laitteen ja vaakatason välinen kulma) ja toinen on atsimuuttikulma (laitteen poikkeama paikallisesta pituuspiiristä). Pohjoisella pallon-

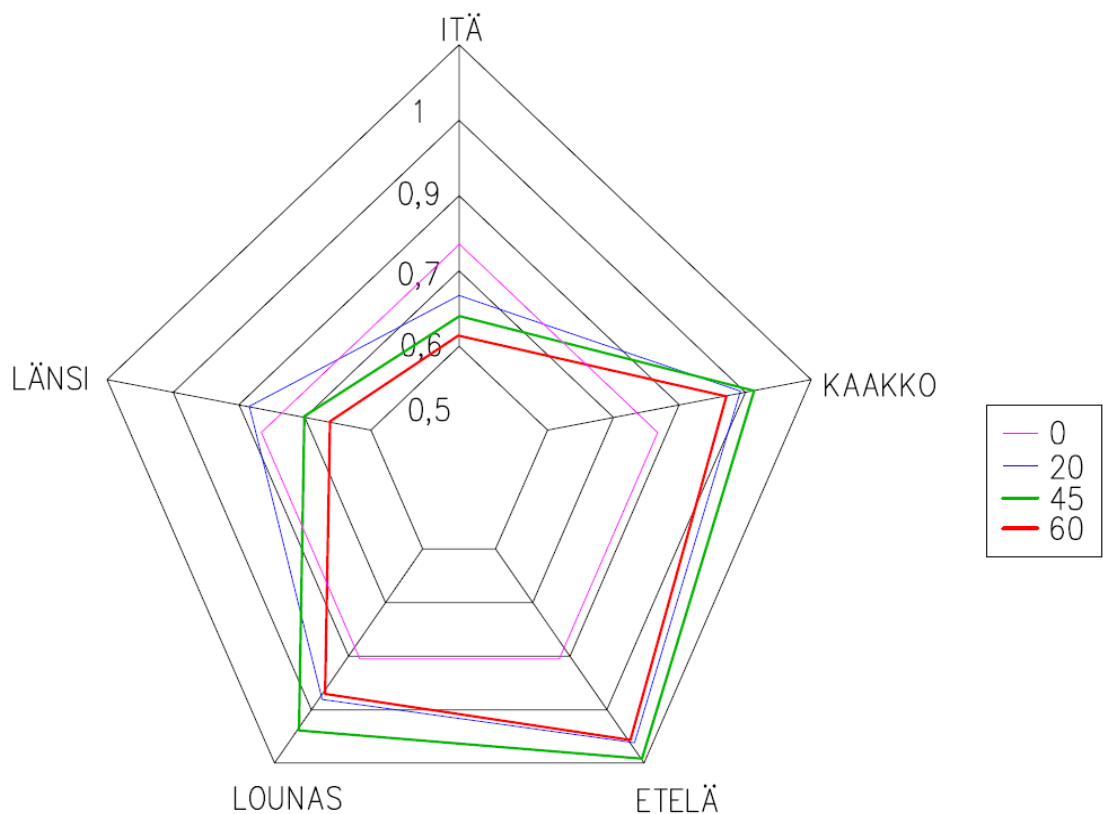
puoliskolla atsimuuttikulmalla tarkoitetaan aurinkopaneelin poikkeamaa kohtisuorasta suuntauksesta etelään. Kuva 5.8.1 havainnollistaa kallistuskulmaa.

[1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12]



Kuva 5.8.1. Paneelin suuntaus kohti aurinkoa ja auringon säteily vinosti paneelin pinnalle [12].

Kuvassa 5.8.2. esitetään aurinkopaneelin hyötysuhde kuvaamassa eri ilmansuuntien (atsimuuttikulma) vaikutusta paneelin energian tuottoon. Lisäksi nähdään myös eri kallistuskulmien vaikutus hyötysuhteeseen. [14, s. 8.]



Kuva 5.8.2. Aurinkopaneelin suuntaus ja hyötysuhde Suomessa [14, s. 8 muokattu].

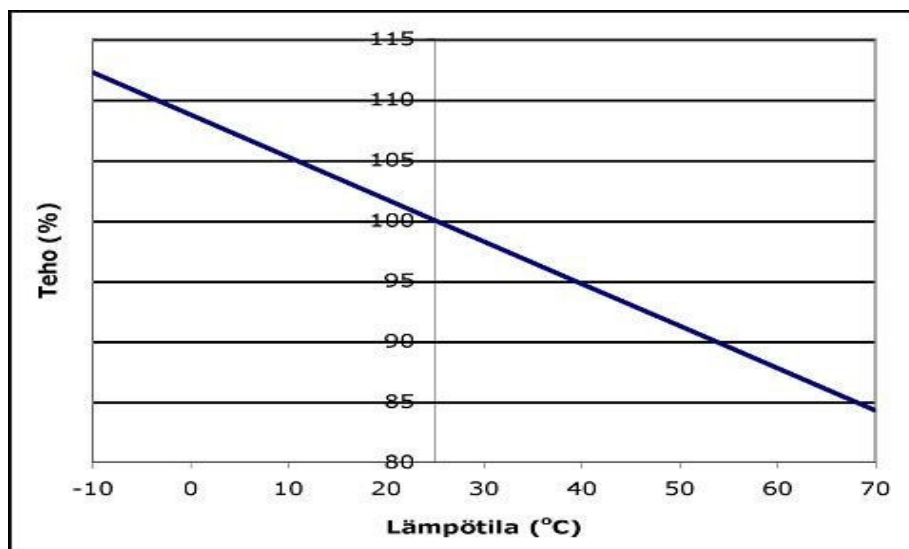
Etelä-Suomessa aurinkopaneelin optimi suuntaus edellyttää suuntausta suoraan etelään, atsimuuttikulmaa 0° (kuva 5.8.1) sekä kallistuskulmaa 42° .

[1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12; 19]

Maantieteellisen sijainnin lisäksi myös vuodenaika vaikuttaa saatavaan auringon paikakakunnalliseen säteilyyn. Tämä johtuu maapallon kierrosta sekä vinosta pyörimisakselista, jonka johdosta vuodenaikasta riippuva säteily määrä on verrannollinen mittauspaikkakunnan etäisyyteen päiväntasaajasta, toisin sanoen maantieteelliseen leveyspiiriin.

[1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12]

Liian korkea lämpötila vaikuttaa negatiivisesti aurinkopaneelin tuottoon. Aurinkopaneelin standardilämpötilana käytetään 25°C :ta. Musta peltikatto ei siis ole välttämättä paras sijoituspaikka paneeleille. Kuva 5.8.3 havainnollistaa lämpötilan vaikutusta aurinkopaneelin tuottamaan tehoon. [12]



Kuva 5.8.3. Aurinkopaneelin ominaiskäyrän muuttuminen eri lämpötiloissa, tieto löytyy eri valmistajien aurinkopaneeleista [12].

Kaikki järjestelmän komponentit on pystyttävä asentamaan sekä huoltamaan turvallisesti kaikissa tilanteissa kaikkina vuodenaikoina. Tekniikan kehittyessä aurinkopaneelit on mahdollista sijoittaa hiukan kauemmaksi varsinaisesta käyttökohteesta, mutta tällöin tulee huomioida jännitehäviöt sekä käyttää lähtökohtaisesti saapuvan säteilyn tehoa 800 W/m^2 yleisesti ilmoitetun tehon 1000 W/m^2 sijaan. [12]

Yleisesti aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee myös määritellä arvioidut jännitehäviöt laskennallisesti. Tähän ei ole yhtä varsinaista, oikeaa tapaa, mutta eräs likimääräinen tapa laskea aurinkosähköjärjestelmän kaapelin poikkipinta-ala on seuraava.

$$I_k \times L \times k = A$$

I_k on Paneelinoikosulkuvirta, A

L on Etäisyysmetreinä, m

k on 0,017 (kokeellinen kerroin)

A on Johtimenpoikkipinta-ala, mm²

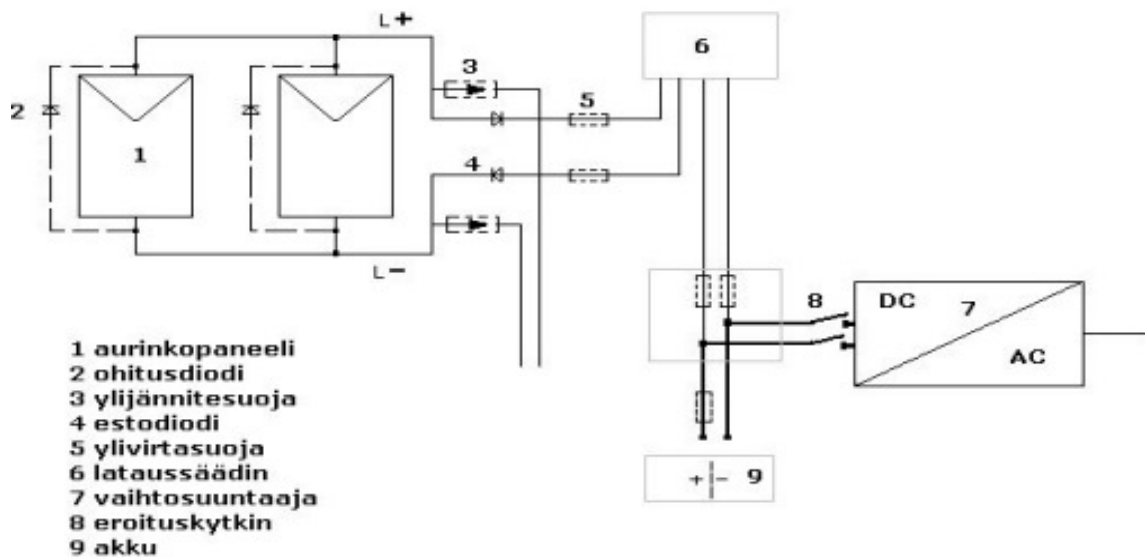
Suurin jännitehäviöiden aiheuttaja on vaihtosuuntaajan sekä aurinkopaneeleiden välinen kaapeli. Seurauksena vaihtosuuntaaja tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle aurinkopaneelistoa häviöiden pienentämiseksi. [1, s. 10–17; 2, s. 3–8; 12]

Loppujen lopuksi aurinkopaneeleita voidaan tänä päivänä asentaa hyvin monipuolisesti, joista integroiminen rakenteisiin on noussut kärkipäähän. Tämä on seurausta siitä, että tällöin voidaan korvata hiukan materiaalia rakenteista aurinkopaneeleilla. Toisaalta tällöin aurinkopaneeleiden kohdistukset ja suuntaukset on mietittävä tarkkaan ennen toteutusta, koska jälkikäteen tehtävät kokonaiset rakennemuutokset tulevat yleensä huomattavasti kannattavaa kalliimmiksi.

Aurinkosähköjärjestelmät pyritään toteuttamaan visuaalisesti mahdollisimman miellyttävällä tavalla niiden hyötyä kuitenkin pienentämättä. Nykyisille aurinkopaneeleille laskettu takaisinmaksuaika riippuu järjestelmäkokoisuudesta.

Aurinkosähköjärjestelmiä asennettaessa tulee aina ottaa huomioon kaikki voimassa olevat turvallisuusohjeet ja määräykset unohtamatta valmistajan ohjeita. Valmistajan ohjeet määrittelevät kunkin komponentin asennukseen tarvittavat tiedot ja näitä tulee noudattaa. Lataussäätimet eivät ole samanlaisia, joten niiden ominaisuudet voivat poiketa huomattavasti toisistaan. Toisilla on omat sulakeryhmänsä joihin voi suoraan liittää muut sähköjärjestelmään tarvittavat komponentit, toisilla ei. Kuvassa 5.8.4 on havainnollistettu aurinkosähköjärjestelmät rakennetta periaatekaaviona.

[1, s. 130–140; 8; 12]

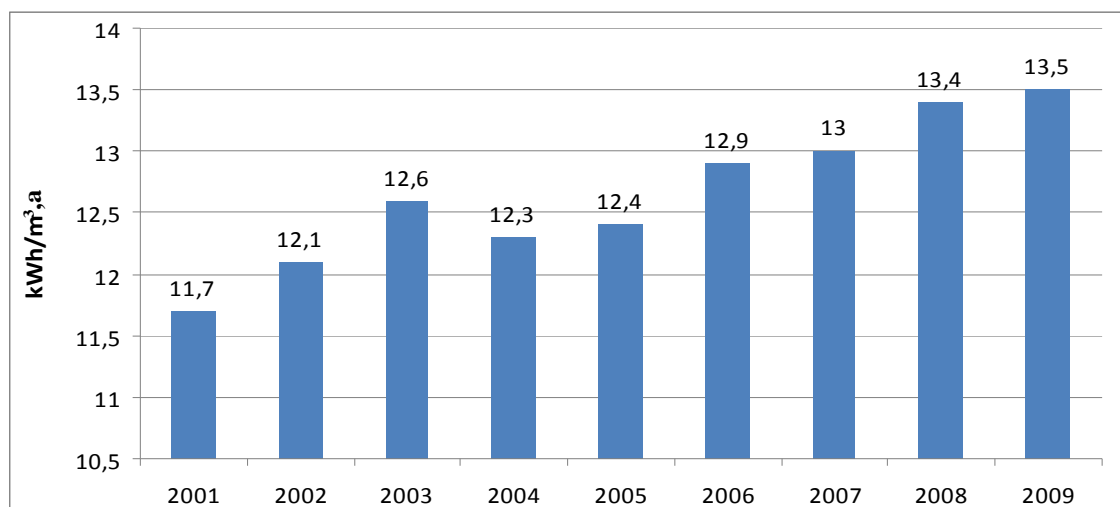


Kuva 5.8.4. Kahden paneelin rinnankytkentä järjestelmässä [12].

6 Helsingin opetusrakennusten sähköenergiankulutuksen kehitys ja jakautuminen

6.1 Opetusrakennusten sähköenergiankulutuksen kehitys

Kaikesta Suomessa käytetystä energiasta kiinteistöjen osuuden arvioidaan olevan noin 30 %, josta kiinteistön käytönaikainen energiankulutus on 90 %. Helsingin kaupungin opetusrakennusten sähköenergian ominaiskulutus on noussut vuosien 2001 - 2009 aikana noin 1,8 % vuosittain. [23, s. 23.] Sähköenergian ominaiskulutuksen kehitys on esitetty kuvassa 6.1.1.



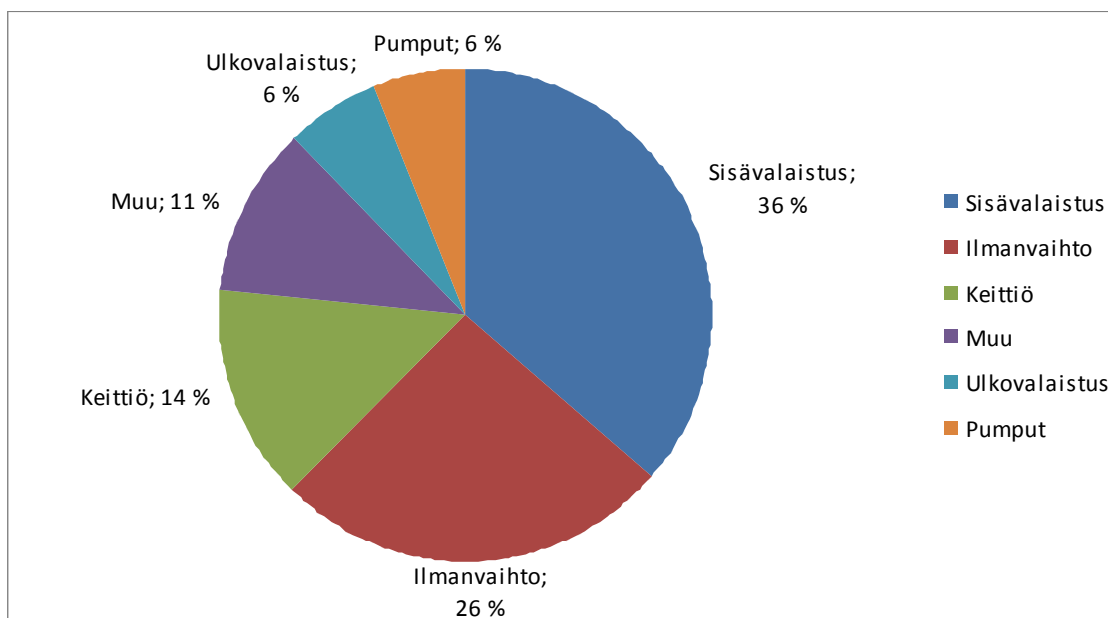
Kuva 6.1.1. Helsingin 163 opetusrakennuksen keskimääräisen sähköenergian ominaiskulutuksen kehitys vuosina 2001–2009 [23, s. 23.].

Kasvanut energiankulutus on omalta osaltaan luonut paineita siirtyä uusiutuviin energiantuotantomenetelmiin, kuten aurinkosähköön, ja kehittää energiansäästötoimenpiteitä. [23, s. 23.]

Helsingin kaupunki on sitoutunut säästämään energiaa, tehostamaan uusiutuvien energiantuotantomuotojen käyttöönottoa ja vähentämään hiilidioksidipäästöjä (KETS & COM). Helsingin väestömäärän kasvaessa ja maantieteellisen laajentumisen myötä kasvaa myös julkisen sektorin paine rakennuttaa lisää palvelurakennuksia, kuten kouluja. [23, s. 1–7.]

6.2 Sähkönkulutuksen jakautuminen

Koulujen suurimmat sähköenergiaa kuluttavat ryhmät ovat sisävalaistus (36,4 %), ilmanvaihto (26,4 %) ja keittiö (~ 10 %), jotka ovat perusedellytyksiä tilojen käyttöä ajatellen. Pistorasiakuormituksen, kuivauskaappien ja koulujen yhteydessä olevien asuntojen kulutuksen osuus on yhteensä myös noin 10 %. [23, s. 20–22.] Kuvassa 6.2.1 havainnollistetaan koulujen sähköenergiankulutuksen jakaumaa Helsingissä.



Kuva 6.2.1. Sähkönenergiankulutuksen keskiarvojakauma Helsingissä, painotettu keskiarvo 9 yläasteesta ja 28 ala-asteesta [23, s. 20–21, muokattu].

7 Kohteen LVISA-järjestelmät

7.1 Perustiedot

Latokartanon peruskoulu on suunniteltu vuonna 2007, ja se otettiin käyttöön syksyllä 2009. Peruskoulu sijaitsee Helsingissä, Viikin kaupunginosassa. Rakennuksen bruttoala on 5 561 m², hyötyala 3 672,5 m², kerrosala 5 315 k-m² sekä tilavuus 27 400 m³. Luokkahuoneita rakennuksesta on 32 kahdesta kerroksesta ja opiskelijoita vajaa 600. [5, s. 6–9; 7]

7.2 Talotekniikka

7.2.1 Sähkötekniikka

Latokartanon peruskoulun sähköistys on suunniteltu vuoden 2007 voimassa olleiden lakien, säädösten sekä ohjeiden mukaisesti ottaen huomioon opetustiloissa määritellyt poikkeukset muun muassa pistorasioiden sijoitusten sekä määrän suhteen.

Kiinteistö on liittynyt tontille rakennetun Helsingin jakelumuuntamon kautta Helsingin Energian sähköverkkoon pienjänniteliittymänä nimellistehon ollessa 340 kW; pääkeskuksen nimellisvirta 630 A ja nimellisjännite 400 V. Liittymiskaapeleita on 3 ja ne ovat tyyppiä AXMK 4x185S.

Rakennuksen sisäinen sähkönjakelu on toteutettu käyttömaadoitettuna (TN-S) viisijohdinjärjestelmänä käyttötarkoituksen mukaisiin jakokeskuksiin jaettuina, joista mainittakoon ryhmäkeskukset RK 1.10 ja RK 1.11, josta syötetään hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän tarvitsema sähkö. RK 1.11 palvelee hybridi-ilmanvaihtokonetta TK204, joka palvelee kotiauloja 1 ja 3, kun RK 1.10 palvelee konetta TK205 ja kotiauloja 2 ja 4. Kaikki jakokeskukset täyttävät SFS-EN 60439:n mukaiset vaatimukset. Ylivirta- ja oikosulkusuojina jakokeskuksissa käytetään tyyppin gL-DIAZED-DII-E27 tulpasulakkeita sekä johdonsuojakatkaisijoita, jotka täyttävät standardin EN 60898 mukaiset vaatimukset. Näiden lisäksi kaikki pistorasiat ja valaisinlähdöt on suojattu A-tyypin vikavirtasuojakytkimillä. [6, s. 25–26.]

Kiinteistön yleisvalaistus on toteutettu liitteen 5 mukaisesti käyttäen SFS 2777 mukaisia T-5-kantaisia loisteputkivalaisimia, jotka on varustettu elektronisin liitäntälaittein ja häiriönvaimennuskondensaattorein. Valaisimien johdotukset on toteutettu TN-S-järjestelmän mukaisina 2,5 mm²:n poikkipinta-alaisilla johtimilla. Sosiaali- ja yleisötiloissa valaisimet on varustettu läsnäoloon perustuvalla pikasytytyksellä. [6; s. 41–43.]

Kiinteistöön on asennettu yleisen kaukolämpöön perustuvan lämmityksen lisäksi sähköllä toimivia sulanapitojärjestelmiä vesikaton sadevesikouruille ja sisäänkäyntien edustoille. Sulanapitojärjestelmien lisäksi sähkölämmityksellä on hoidettu raitisilmahormien pohjan lattialämmitys ja raitisilmakanavien lattioiden sekä seinien lämmitys. Niitä käytetään tarvittaessa kosteuden poistoon. [6, s. 43.]

7.2.2 Rakennusautomaatiojärjestelmä

Kohteen rakennusautomaatiojärjestelmä on toteutettu hajautetulla väyläpohjaisella Direct Digital Control (DDC) -järjestelmällä sekä keskitetyllä tietokonepohjaisella valvomolla. Sen tehtävä on muun muassa ohjata sisä- ja ulkovalaistusta, lämmitystä sekä ylläpitää koko rakennuksen ilmanlaatu riittävän hyvänä koulutustarkoitukseen soveltuvana. [4, s. 12–28; 6, s. 55–56; 7]

7.2.3 LVI-tekniikka

Kiinteistö on liittynyt Helsingin Energian kaukolämpöverkkoon ja rakennuksen sisäinen lämmönjako tapahtuu ikkunoiden alle asennettujen radiaattoreiden sekä ilmanvaihdon lämmityspattereiden avulla. Vesi- ja viemärijärjestelmät ovat liittyneet Helsingin kunnalliseen verkostoon. [4; 7]

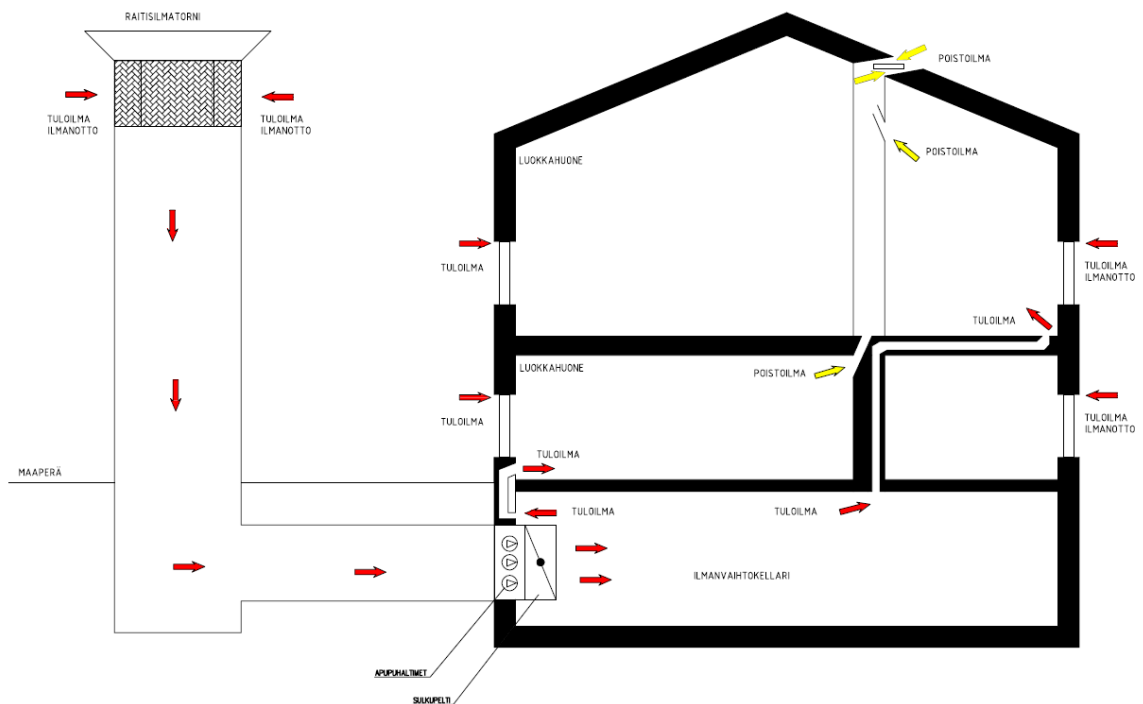
Kiinteistössä on kaksi rinnakkain toimivaa ilmanvaihtojärjestelmää, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä apupuhaltimilla varustettu hybridi-ilmanvaihto. Hybridi-ilmanvaihto rakentuu kahdesta ilmanvaihtokoneesta, TK204 ja TK205. TK204 palvelee kotialueiden 1 ja 3 luokkatiloja sekä niiden läheisyydessä olevia yleisiä tiloja, ja TK205:n vaikutusalueena ovat kotiaulojen 2 ja 4 luokka- ja yleiset tilat. Muutoin koulu on koneellisen ilmanvaihdon piirissä. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä rakentuu kolmesta ilmanvaihtokoneesta: TK201, TK202 ja TK203. TK201:n vaikutusalueena ovat juhlasali, toimistot sekä erikoisluokkatilat, kuten kemianluokka. TK202

palvelee ainoastaan keittiötä, kun TK203:n vaikutusalueena ovat teknisen työn tilat. [10]

7.2.4 Latokartanon peruskoulun hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä

Latokartanon peruskoulun hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä on puhallinavusteinen painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä (katso luku 4.5.2), jossa on kaksi ilmanvaihtokonetta TK204 ja TK205. Jäljempänä tehdyt tarkastelut ovat kohdistuneet TK205:ssä ilmenneiden mittausteknillisten ongelmien johdosta TK204:een. TK204:n säätökaavio sekä toimintaselostus (LVI-0511-407) ovat liitteessä 1. [10]

Kuvassa 7.2.4.1 havainnollistetaan karkeasti poikkileikkauksena yhden siiven hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä.



Kuva 7.2.4.1. Puhallinavusteinen painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä [4].

Rakennuksen sähköjärjestelmän keskeisin tehtävä hybridi-ilmanvaihdon kannalta on syöttää sähköä puhaltimille ja ilmanvaihtoa ohjaaville rakennusautomaatioon kytketyille antureille sekä toimilaitteille. Ensisijaisen tärkeää on että sähkönsyöttöverkosto on oikein mitoitettu, jottei se vikatilanteessakaan vahingossa särje helposti rikkoutuvia antureita tai niiden toimilaitteita, mutta pystyy kuitenkin ylläpitämään tasaisen energian jakamisen.

Rakennusautomaationjärjestelmä toimii LVI- ja sähköjärjestelmän rajapintajärjestelmänä. Rakennusautomaation keskeisimpänä tehtävänä on ohjata hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toimilaitteita, joista tärkeimmät ovat raitisilmatornissa olevien ulkoilmapeltien säätäminen ilmapirran säätämiseksi sekä aputoimilaitteiden kuten apupuhaltimien tarpeenmukainen ohjaaminen päälle. Rakennusautomaatiojärjestelmä valvoo jatkuvasti rakennuksessa vallitsevaa ilmanlaatua lämpötilamittareilla sekä hiilidioksidiantureilla ohjatakseen tarvittavaa ilmanvaihdon tehostamista hybridipuolella. Raitisilmatornin kautta raitisilmakanavaan johdettavaa ilmamäärää säädellään ulkona valitsevan tuulen nopeuden ja suunnan perusteella, joita niin ikään seurataan rakennuksen ulkosivulle asennettujen antureiden avulla.

[4, s. 12–28; 6, s. 55–56; 7; 10]

Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisilmamäärä on 4352 l/s. Keskimääräiset ilmamäärät ovat 136 l/s/huone. [4, s. 6–9; 7]

7.2.5 Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmä

Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmä koostuu 53 kappaleesta Naps Systems Oy:n aurinkopaneelistä (solar module NP 200 GK). Aurinkopaneelien hyötysuhteeksi standardeissa testausolosuhteissa on ilmoitettu 13,8 % ja aurinkokennoille 15,2 %. Jokainen yksittäinen aurinkopaneeli rakentuu 54 monikiteisestä piistä valmistetusta aurinkokennosta, jotka on kytketty sarjaan. Yhden aurinkopaneelin pinta-ala on noin 1,5 m² (1485 x 986 mm) ja huipputeho 200 W_p. Aurinkopaneelit on ryhmitelty niin, että ensimmäisellä ja toisella vaiheella on 18 aurinkopaneelia ja kolmannella vaiheella 17. Yhdessä koko aurinkosähköjärjestelmän pinta-ala on siis noin 77,6 m² ja huipputeho 10,8 kW_p. Paneelisarja on asennettu suoraan koulun katon pinnalle konsoliasennuksena, kallistuskulman ollessa 40–41 astetta suoraan etelään. [8] Latokartanon kouluun asennetun Naps Systems Oy:n aurinkosähköjärjestelmän kaaviot ovat luettavissa liitteessä 2.

7.2.6 Sähköenergiankulutus

Elokuussa 2009 käyttöön otettu Latokartanon peruskoulu on ollut sähköenergian kulutuksen kannalta hyvä ja energiataloudellinen. Sähkön ominaiskulutus vuonna 2009 oli 11 kWh/m³, Helsingin keskiarvo oli 13,5 kWh/m³. Insinööritoimiston seuranta-ajanjaksolla

vuonna 2010 sähkön ominaiskulutus oli 18,9 kWh/m³ Helsingin keskiarvon ollessa 13,5 kWh/m³. Vuonna 2010 toteutunut sähkön kulutus oli lähes kolmanneksen suurempi kuin edeltävä vuonna. Tämä johtuu pääosin siitä, että kohteessa on ollut ilmanvaihto pakko-ohjauksella vuoden 2010 tammikuusta lokakuuhun johtuen uuden rakennuksen tuulettamisesta. Tämän lisäksi kohteessa on ollut sähkökuivaimilla toteutettu kuivatus käynnissä yhdessä siivessä jouluna 2009 sattuneen vesivahingon seurauksena. Ilman edellä mainittuja seikkoja olisi kohteen sähköenergian ominaiskulutus ollut todennäköisesti alle Helsingin keskiarvon. [7]

8 Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän toiminnan analysointi

8.1 Tavoitteet

Aurinkosähköjärjestelmän analysoinnin tavoitteena on suorittaa laskennallinen arvio aurinkoenergian tuotannosta Latokartanon koululle vuodelle 2010 ja arvioida näin järjestelmän energiatehokasta ja järkevää toimintaa. Arvion perusteella esitetään mahdollisia parannusehdotuksia. Aurinkosähköjärjestelmän tavoitteena on vuoden tarkastelujakson aikana tuottaa hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän kuluttama sähköenergia. Tämän tavoitteen realistista ja ajantasaista toimintaa tarkkaillaan jäljempänä. Puutteiden ilmetessä analysoidaan niiden vaikutuksia aurinkosähköjärjestelmän toimintaan.

8.2 Tutkimusmenetelmä

Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän mittausjärjestelyiden puutteiden vuoksi aurinkoenergian tuotannon tarkastelua ei voitu toteuttaa seuraamalla kiinteistön omia alamittauksia, vaan tuotanto jouduttiin arvioimaan laskennallisesti. Jotta laskennallinen tuotannon arviointi ja siitä tehtävät johtopäätökset olisivat luotettavampia, käytimme toisena aurinkoenergian tuotannon arviointimenetelmänä Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:n aurinkosähköjärjestelmien tuotantotarkasteluun tarkoitettua laskentapohjaa.

Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän oikein toimivuutta analysoitaessa ja aurinkoenergian tuotantotarkastelua tehtäessä tulee aina ottaa vertailukohde samoista lähtökohdista järjestelmän toimivuutta ajatellen. Helsingin Rakennusviraston ohjeiden mukaisesti vertailukohteena toimii Aurinkolahden peruskoulu, jonne on asennettu hieman suu-

remppi mutta toiminnaltaan ja rakenteeltaan identtinen järjestelmä. Aurinkolahden järjestelmä rakentuu 102:sta Naps Systems Oy:n aurinkopaneelistä, tehden aurinkopaneelien kokonaispinta-alaksi noin 150 m^2 ja tehoksi $20,4 \text{ kW}_p$. Ainoana aurinkoenergian tarkastelua häiritsevänä poikkeuksena on Aurinkolahden paneelien asennus 60 cm :n korkeuteen kattopinnasta, kun Latokartanossa paneelit ovat suoraan katon pinnalla.

Laskennallinen tuotanto suunniteltiin toteutettavan seuraamalla samanaikaisesti Aurinkolahden ja Latokartanon aurinkosähköjärjestelmien tuotantoa ajanjaksolla lokakuu 2010 – helmikuu 2011. Sääolosuhteiden takia auringonsäteilyn tuotanto oli suunnitellulla seuranta-ajanjaksolla niin heikko, että päädyimme tekemään Aurinkolahden aurinkoenergiantuotantoon perustuvan laskelman käyttäen hyödyksi Aurinkolahden peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän vuoden 2010 toteutuneen energiatuotannon neliötuo-
tanta. Perustelut Aurinkolahden peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän neliötuo-
tanta. Perustelut Aurinkolahden peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa arvioi-
taessa on esitetty luvussa 8.3.

Insinööriyössä Latokartanon aurinkosähköjärjestelmän tarkastelu rajoittuu Aurinkolahden peruskoulun pohjalta tehtäviin laskennallisiin arvioihin sekä Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:n laskentaohjelmiston avulla saatuihin arvioihin. Johtopäätökset laaditaan laskelmien pohjalta. [7]

8.3 Tulokset

Laskennallinen arvio kohteen aurinkoenergian tuotannolle on laadittu Aurinkolahden peruskoulussa olevan järjestelmän pohjalta. Laskennassa on oletettu, että Aurinkolahdessa sekä Latokartanossa aurinkosähköjärjestelmien aurinkopaneelien tuottama neliöllinen sähköenergia on sama. Perusteluita oletukselle on järjestelmien sama toimitaja ja järjestelmien identtinen rakenne, kohteiden läheinen sijainti toisiinsa nähden sekä lähes sama paneelien suuntaus kohti aurinkoa. Lisäksi lumiolosuhteet on huomioitu tuotantoa arvioidessa.

Tuloksissa esitettävä aurinkosähköjärjestelmän teoreettinen arvio on laadittu vuosien 1971–2004 tilastollisista Ilmatieteen laitoksen ilmoittamista auringon säteily sekä paistatuntien tiedoista. Teoreettinen arvio on laadittu laskemalla vuodelle 2010 keskiarvoi-

nen aurinkoenergian tuotanto Etelä-Suomeen vuosien 1971–2004 säteilytietojen perusteella. Aurinkopaneeleiden hyötysuhteena on käytetty 11 %:a, jotta saatava tulos olisi paremmin vertailukelpoinen Granlundin laskelman sekä aiemmin tehdyn Aurinkolahden aurinkosähköjärjestelmän arvioinnin kanssa. Teoreettisen arvion prosessi on selostettu tarkemmin liitteessä 3. Laskelmat-merkinnällä olevat tulokset perustuvat Aurinkolahden aurinkosähköjärjestelmän vuonna 2010 toteutuneeseen tuotantoon.

Kuvissa 8.3.1 ja 8.3.2 esitetään Latokartanon peruskoulun vuoden 2010 sähköenergian kulutus sekä aurinko- ja ostosähkön jakautuminen.

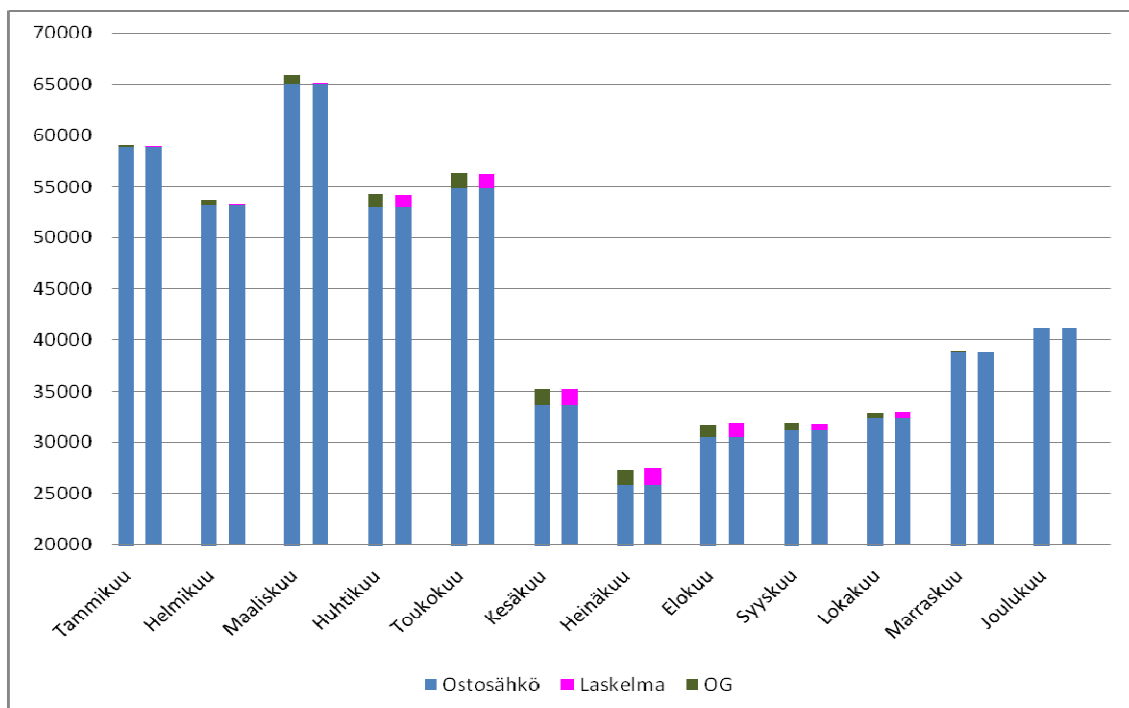
OG-merkinnöillä esiintyvät tulokset ovat Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:n laskennan pohjalta, jossa säteilyenergia on haettu Meteororm Version 6.0-sääohjelmaa hyväksi käyttäen. Laskelmissa (OG) käytetyt säteilyenergian arvot ovat samat kuin Aurinkolahden peruskoulussa tehdyssä arviossa. Granlundin laskentaohjelman arvio perustuu teoreettisiin tekijöihin, joita ovat auringon säteilyenergia sekä järjestelmän tekniset tiedot. Ostosähköllä tarkoitetaan kohteen todellista ostosähköä vuodelta 2010. Kaikki kuvissa ja taulukoissa käytetyt lähtötiedot ovat liitteessä 3.

Laskelman, joka perustuu Aurinkolahden peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän tuotantoon (jäljempänä kuvassa 8.3.1 laskelma), tuloksena aurinkoenergian osuus todellisesta sähkönkulutuksesta olisi vuonna 2010 ollut kuvan 5.3.1 mukaisesti 1,66 %.

Granlundin laskentaohjelmalla laskettuna aurinkoenergian tuotanto olisi ollut 1,96 %.

Vuonna 2010 erinäisten ongelmien johdosta ilmanvaihto on ollut pakko-ohjauksella tammikuusta aina lokakuuhun asti, joten tulos vääristää todellisuutta.

Normaalikäytön mukaisissa käyttöolosuhteissa kohteen ostosähkön osuus olisi noin 15 000 kWh pienempi edellä mainituilta kuukausilta, jolloin kohteessa on ollut pakotettu ilmanvaihto sekä kuivatus päällä.



Sähköenergian kulutuksen jakautuminen kuukausittain, esitetty Laskelman ja OG:n os.

kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	YHT
Laskelma	0,0	0,0	0,0	2,1	2,6	4,7	6,4	4,4	2,2	1,7	0,2	0,0	1,7
%													
OG	0,3	0,7	1,6	2,1	4,4	5,8	4,8	3,9	2,5	1,2	0,4	0,0	1,9
%													

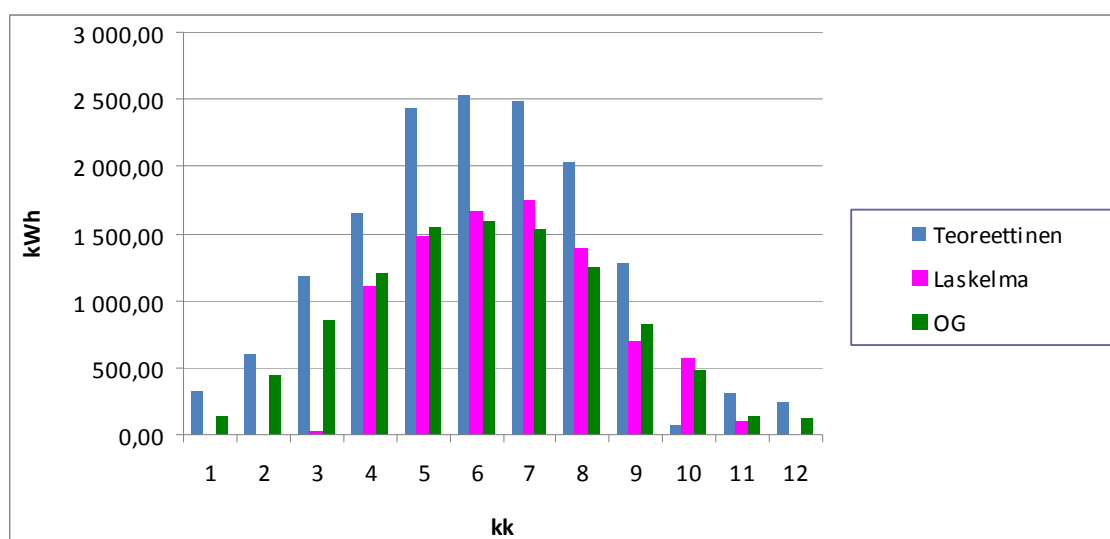
Kuva 8.3.1. Latokartanon peruskoulun vuonna 2010 käyttämä sähköenergia kuukausitasolla. Kuvassa on esitetty ostosähkön, laskelman, joka perustuu Aurinkolahden peruskoulun tuotantoon ja OG:n osuudet.

Aurinkosähkön alkuvuoden tuotannon puuttuminen johtuu siitä, että paneelit ovat olleet lumen alla. Lisäksi Naps Systems Oy ilmoittaa aurinkopaneeleiden tuotoksi talvisin Suomen asteilla lähes nollan teoreettisista laskelmista poiketen. [7]

Toteutunut sähkön kokonaiskulutus oli vuonna 2010 joko 518 318 kWh (ostosähkö) + 10 157 kWh (Granlund) tai 8 756 kWh (laskelma, joka perustuu Aurinkolahden peruskoulun tuotantoon) arviointimenetelmästä riippuen. Aurinkosähköntuotannon arviointimenetelmien keskiarvoiseksi tulokseksi saadaan 9 447 kWh/v, josta voidaan laskea aurinkopaneeliston neliömääräiseksi energiantuotannoksi vuodessa 121,74 kWh/m², v. Teorettinen energiantuotannon maksimi oli 15 143 kWh vuonna 2010. Teorettinen energiantuotannon maksimi on mahdollista laskea kuvasta 8.3.2.

Latokartanon aurinkosähköjärjestelmälle suoritettujen arviointien perusteella tulokseksi saatiin 62,5 % (arviointimenetelmien keskiarvo) tilastollisesta maksimienergiasta. Teoriassa vastaava osuus olisi noin 65 %. Tulos perustuu Ilmatieteenlaitoksen pääkaupunkiseudulle vuosilta 1971–2004 ilmoittamien auringon säteilyn ja paistetuntien tiedoista. Ilmatieteenlaitoksen tiedoista määritellyt vuosi ja kuukausituotannot ovat tarkemmin liitteessä 3.

Vuonna 2010 energian tuotanto oli Aurinkolahden peruskoulun aurinkosähköjärjestelmään perustuvan arvioinnin pohjalta 8 756 kWh, kun Granlundin arvioinnin tuloksena saatiin 10 157 kWh. Kuvasta 8.3.2 voidaan nähdä, kuinka Aurinkolahteen perustuva laskelman tuotanto näyttää 0 kWh/kk talvikuukausina. Tämä johtuu siitä, että aurinkopaneelit ovat olleet lumen peitossa. Samasta kuvasta nähdään myös, kuinka Granlundin Meteorin sääohjelmistoon perustuva arviointimenetelmä ei ota lumiolosuhteita huomioon, vaan määrittelee tuotannon maan pinnalle saapuvasta säteilystä.



Kuva 8.3.2. Aurinkosähkön vuotuiset kokonaistuotannot.

8.4 Elinkaaritarkastelu

Aurinkosähköjärjestelmän kustannusvaikutuksia tarkasteltaessa HKR - Rakennuttajan esittämällä 0,1 €/kWh energiahinnalla saadaan pääkaupunkiseudulla 9 447 kWh/a tuotannon omaavalla aurinkosähköjärjestelmällä noin 950 €:n säästöt vuositasolla. Yhden neliömetrin aurinkopaneelin vuosittaiset kustannusvaikutukselliset säästöt ovat siis 12,24 €/vuodessa. [7]

Latokartanoon asennetun aurinkosähköjärjestelmän kustannukset olivat 85 000 € (alv 0 %:n) ja se tekee järjestelmän takaisinmaksuajaksi 89,5 vuotta, kun lähtöarvoina käytetään 0 % laskentakorkoa sekä 950 €:n vuosittaista säästöä. Kustannusvaikutuksien näkökulmasta ajatellen järjestelmä ei ole kannattava. Tarkasteltaessa järjestelmää ympäristön näkökulmasta, on järjestelmä vähentänyt kiinteistön aiheuttamia CO₂-päästöjä hieman alle 2 500 kg vuodessa (2 456 kg). CO₂-päästöjen laskennallinen arviointi perustuu HKR - Rakennuttajan CO₂-päästöjen arviointiohjeen lukemaan, joka on 260 g/kWh. [7; 25]

8.5 Johtopäätökset

Kuvassa 8.3.2 esitetyjen arviointimenetelmien perusteella voidaan laskea Latokartanon aurinkosähköjärjestelmän vuoden 2010 sähköenergian tuotannoksi 9 447 kWh, joka on 62,5 % tilastollisesta maksimienergiasta vuositasolla.

Kuvaa 8.3.2 lähemmin tarkastellessa voidaan havaita, että todellisuuteen perustuvalla, Aurinkolahteen liittyvällä arviointimenetelmällä talvikuukausien (1, 2, 3 ja 12) energian tuotanto on 0 kWh, kun tiedetään aurinkopaneeleiden olleen lumen peitossa. Granlundin Meteonorm-sääohjelmisto sen sijaan esittää jonkinlaista tuotantoa talvikuukausillekin. Täten voidaan todeta, että Aurinkolahteen perustuva laskelma ottaa huomioon todelliset lumiolosuhteet ja on näin ollen luotettavampi menetelmä talvikuukausien tuotantoa arvioidessa. Kesäkuusien osalta arviointimenetelmillä ei ole suurta eroavaisuutta.

Aurinkosähköjärjestelmien energian tuotantoa tarkastellessa sekä arvioidessa tulee aina huomioida tekniikasta ja suunnittelusta riippumattomat tuotantoa laskevat tekijät. Suurin yksittäinen tuotantoon vaikuttava tekijä on sää, joka voi vaihdella hyvinkin suuresti eri vuosina, pienempiä vaikutuksia ovat esimerkiksi kunnallinen asemakaavoituksen muutokset, jonka seurauksena tarkasteltavan kohteen aurinkopaneeleiden esteetön suuntaus kohti aurinkoa voi kärsiä. [12]

Realistisella tasolla aurinkosähköjärjestelmästä on saatavissa noin 65 % teoreettisesta maksimienergiasta, mikäli aurinkopaneeleiden suuntaus on toteutettu oikein sekä kaikki muut tuotantoa laskevat tekijät on huomioitu. Tarkasteltaessa kahden toisistaan riip-

pumattoman tuotannon arviointitapaa saamme keskiarvoksi 62,5 %. Seurauksena voimme pitää kohteen aurinkosähköjärjestelmää hyvin toimivana järjestelmänä. [12]

Pelkästään aurinkosähköjärjestelmän rakennuskustannusten näkökulmasta tarkasteltuna järjestelmä ei ole kannattava, vaikka tämän kaltaiseen aurinkosähköjärjestelmän hankintaan voidaan saada Valtioneuvoston asetuksen 1313/2007 mukaisesti enintään 30 %:n tuki.

Aurinkosähkönjärjestelmästä saatava tuotanto edesauttaa saavuttamaan Helsingin kaupungin energiapolitiittisten linjauksien mukaisia tavoitteita uusiutuvan energian osalta (kasvattaa uusiutuvan energian osuus 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä). Lisäksi tuotanto auttaa Helsingin kaupungin 4.12.2007 solmimaa kuntien energiatehokkuussopimusta (KETS), jonka mukaisesti kaupungin on säästettävä 9 % kokonaisenergiankulutuksesta vuoteen 2016 mennessä. Aurinkosähköjärjestelmän CO₂-päästöjen vähentävä vaikutus edistää Helsingin kaupungin 7.1.2009/10.2.2009 solmimaa kaupungin johtajien energia- ja ilmastopopimusta eli Covenant of Mayersia (COM), jonka mukaan kaupungin tulee vähentää CO₂-päästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä.

[12; 23, s. 1-7.]

Aurinkosähkönjärjestelmien yleistyessä, aurinkopaneeleiden kehittyessä, keräinpinta-alojen suurentuessa sekä "syöttötariffin" mahdollistamisen jälkeen tulee järjestelmä varmasti hyödyttämään Helsingin kaupunkia monin tavoin. Helsingin kaupungin opetusrakennuksien ollessa poissa käytöstä voitaisiin aurinkosähkönjärjestelmien tuotanto ohjata Helenin sähköverkon kautta kaupungin muille kiinteistöille, mikä laskisi kesäaikaan ostettavan verkkosähkön tarvetta. Lisäksi aurinkosähkönjärjestelmien tuotannon kasvaessa tämä merkitsisi suurta vähennystä kesäajan CO₂-päästöihin, jolloin kesäajan päästöjen pienuus kompensoisi kylmänä talvena tarvittavan lisälämmityksen aiheuttamia ylimääräisiä CO₂-päästöjä. Aurinkosähkönjärjestelmien vielä suurempi tuotanto kesäaikaan voisi parhaimmillaan mahdollistaa yhden Helsingin Energian voimalaitoksen hetkellistä käytöstä poistamista huoltoseisokin ajaksi, ilman mitään ihmeellisimpiä järjestelyitä.

Aurinkosähkönjärjestelmillä on suuri potentiaali nousta merkittäväksi energiantuotannon muodoksi tulevaisuudessa. Aurinkoenergia nousee aurinkosähkönjärjestelmien kehitty-

essä tuulivoiman edelle energiantuotannon muotona, koska auringonsäteily on huomattavasti tasaisempaa kaikkialla verrattuna tuulivoiman generaattoreiden tarvitsemaan tuulennopeuteen. Aurinkosähköjärjestelmien heikkoutena on kuitenkin toistaiseksi heikko hyötysuhde, aurinkopaneeleiden suuren pinta-alan tarve sekä sään vaikutus aurinkosähköjärjestelmän tuotantoon. [2, 12]

9 Latokartanon peruskoulun hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan analysointi

9.1 Tavoitteet

Kiinteistön hybridi-ilmanvaihtojärjestelmää tarkasteltiin sähkön osalta mittaamalla tuuloilmakoneen TK204:n apupuhaltimien tehoa kahden viikon seuranta-ajanjakson verran. Mittauksilla pyrimme selvittämään hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan energiatehokkuutta ja luoda mittaustulosten perusteella seuranta-ajanjaksolle käyrästön, josta näemmä puhaltimien tehon muutokset, jotka korreloivat ilmanvaihdon tehostamistarpeen kanssa. Mittauksilla pyrimme myös selvittämään puhaltimien ohjauksien oikean toiminnan tarkastelemalla puhaltimien pyörimisnopeuden muutoksia tiloissa vallitseviin CO₂-pitoisuuksiin sekä lämpötilaan. Tarkastelun tavoite on selvittää toimiiko järjestelmä suunnitelmien mukaisesti.

9.2 Mittaukset

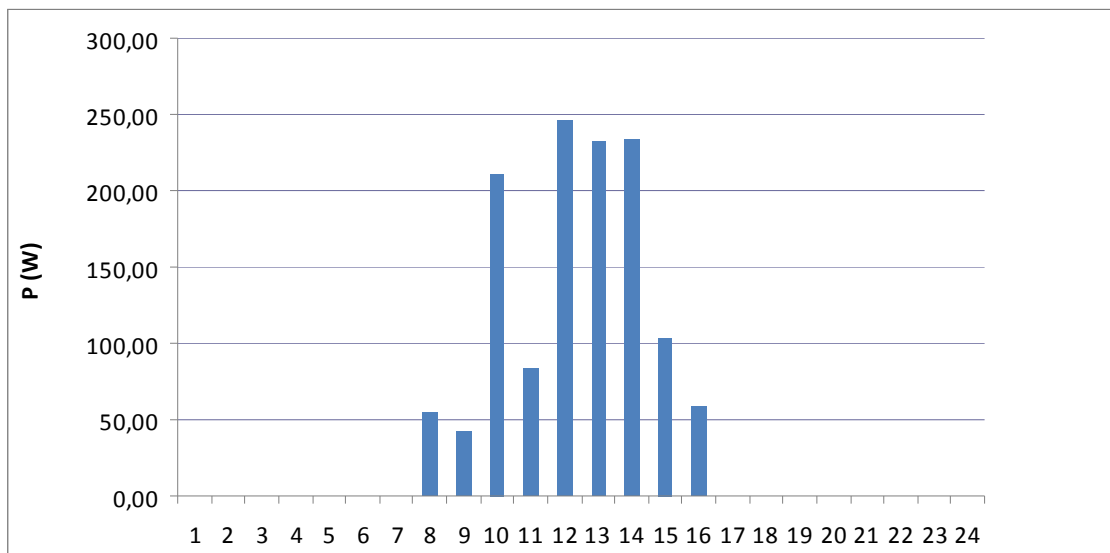
Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän mittaus suoritettiin aikavälillä 20.1.2011 - 8.2.2011. Tarkasteltavaksi ilmanvaihtokoneeksi valitsimme TK204, joka palvelee kotiauloja 1 ja 3. Mittavälineinä toimivat Fluke 435-verkkoanalysaattori ja Fluke i400s-virtapihdit, joiden mittausalue oli 10 mV/A, 40 A (max). Näytteenottotaajuudeksi valitsimme standardin EN 50160 mukaisen 10 min:n sijaan 5 min, tarkasteltavan kohteen haastavuuden takia.

9.3 Tulokset

Kuvissa 9.3.1–9.3.3 esitetään HKR - Rakennuttajan ohjeistuksen mukaisesti seuranta-ajanjakson 20.1–8.2.2011 tulosten keskiarvot. Havainnollistamisen helpottamiseksi kuvat on esitetty seuraavanlaisesti: verkkoanalysaattorilla mitatut ilmanvaihtokoneen TK204 apupuhaltimien tehot (kuva 9.3.1), rakennusautomaatiosta otetut ulkolämpötila (kuva 9.3.3), CO₂-antureiden keskiarvo ja rakennusautomaatiosta havaitun poikkeavan

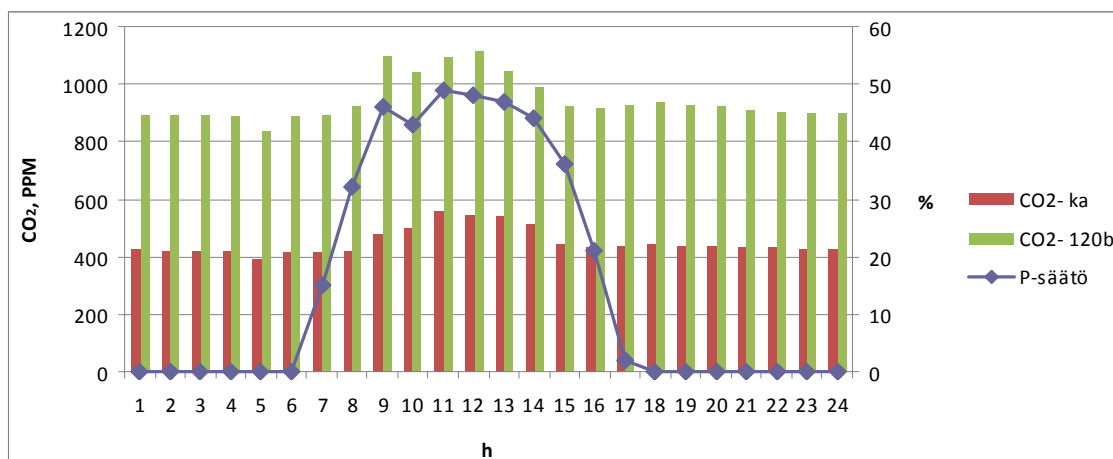
CO₂-anturin (luokassa 120b) arvot sekä puhaltimien toimintapisteet prosentuaalisina (kuva 9.3.2).

Kuvasta 9.3.1 voidaan havaita, että ilmanvaihtokoneen TK204 apupuhaltimet käynnistyvät aamulla klo 7.00 ja sammuvat koulupäivän päättyessä klo 16.00. Päivän aikana puhaltimet ovat seuranta-ajanjakson aikana olleet tasaisesti käynnissä lukuun ottamatta ruokatuntia, joka näkyy kuvan 9.3.1 klo 11.00 kohdalla.



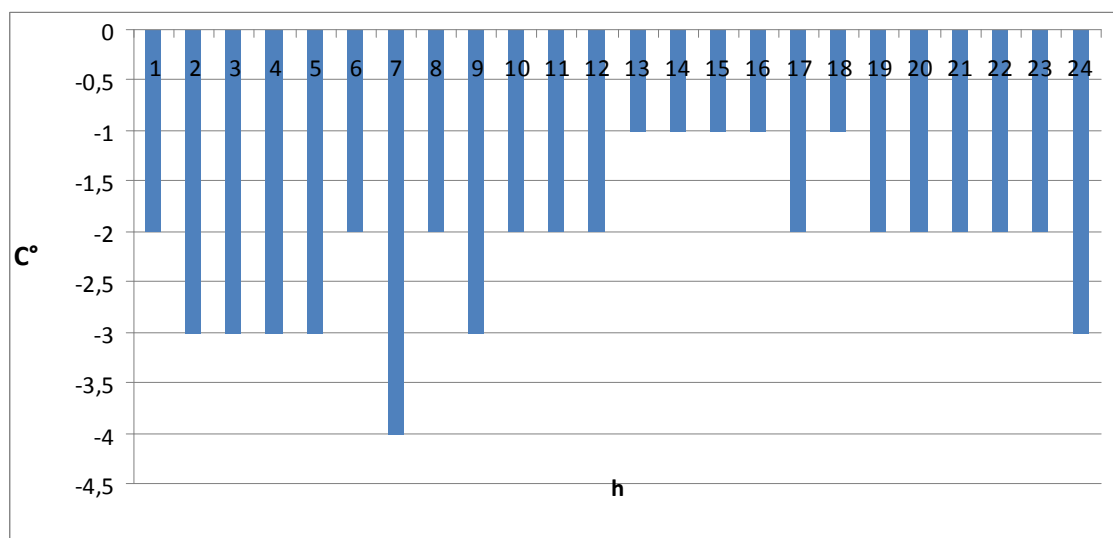
Kuva 9.3.1. Seuranta-ajanjakson 20.1–8.1.2011 24 h:n keskiarvoprofiili ilmanvaihtokoneen TK204 apupuhaltimien tuntitehojen keskiarvosta.

Kuvassa 9.3.2 on esitetty kiinteistön rakennusautomaatiosta otettuina kotiaulojen 1 ja 3 hiilidioksidi (CO₂) antureiden 24 h:n keskiarvoprofiili. Ottaessamme CO₂-lukemia rakennusautomaatiosta, huomasimme yhden anturin poikkeavan huomattavasti muihin antureihin nähden. Poikkeava anturi on esitetty kuvassa 9.3.2 CO₂, 120b:nä (204TK_QE9_120b). Kyseinen anturi on kotiaulassa 1, luokassa 120b. Kuvaa 9.3.2 tarkemmin tarkasteltaessa havaitaan, että puhaltimien %-säätöpiste korreloi ilmanvaihtokoneen TK204 säätöasetuksia eli korkeimman CO₂-anturin lukeman sekä muiden CO₂-antureiden keskiarvon keskiarvoa.



Kuva 9.3.2. Seuranta-ajanjakson 20.1–8.1.2011 24h profiili rakennusautomaatiosta CO₂-keskiarvo (ka)/CO₂-luokka 120b/TK204 apupuhaltimille menevä säätöviesti (P-säätö).

Hybridi-ilmanvaihtoa ohjataan hiilidioksidi (CO₂) antureiden sekä sisälämpötila-antureiden (T_s) avulla. Kuvassa 9.3.3 esitetään seuranta-ajanjakson ulkolämpötilan vuorokauden keskiarvoprofiili, jota vertaamalla kuvaan 9.3.1 voimme havaita, ettei ulkolämpötilan vaikutuksella ole ollut juuri vaikutusta apupuhaltimien toimintaan.



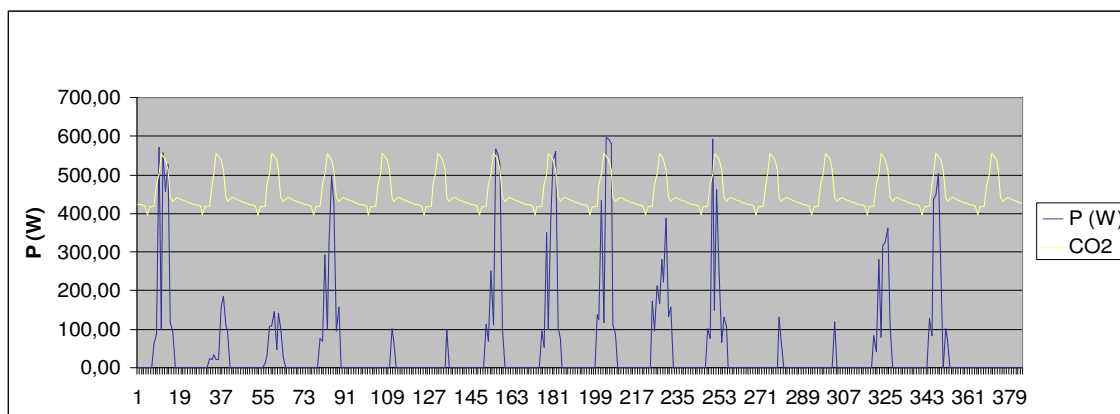
Kuva 9.3.3. Seuranta-ajanjakson 20.1 - 8.1.2011 ulkolämpötilat vuorokauden keskiarvoprofiilina.

Järjestelmä on energiataloudellisempi verrattuna koneelliseen vastaavan suuruiseen ilmanvaihtokoneeseen, koska puhaltimet käyvät vain tarvittaessa. Kuvasta 9.3.1 voidaan laskea vuorokaudelliseksi puhaltimien tarvitsemaksi energiaksi 1,268 kWh, joka on 0,1 €/kWh energianhinnalla vajaa 0,13 €/vrk. Kahden viikon seuranta-ajanjakson kustannukseksi tulee siis noin 1,8 € ja kuukauden kustannukseksi vastaavissa olosuhteissa noin 3,6 €. Tällä hetkellä luokkatilan 120b anturi vääristää todellista tilannetta.

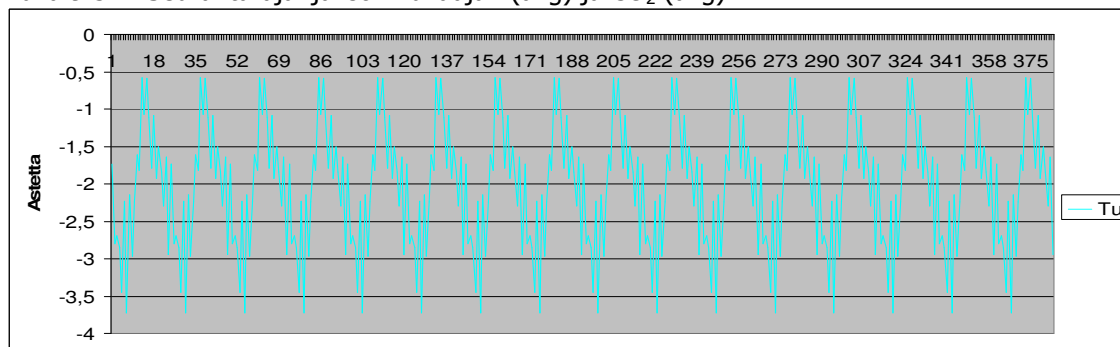
Todellisuudessa edellä mainitut kahden viikon ja kuukauden kustannukset olisivat vaajaan kolmasosan pienempiä vastaavissa olosuhteissa, jos luokkatilan 120b CO₂-anturi ei vääristäisi tilannetta. Edellä laskelmoidut kustannukset pätevät talviolosuhteissa, koska tällöin painovoimainen ilmanvaihto toimii suuren lämpötilaeron johdosta paremmin. Tapauksissa, joissa ulko- ja sisälämpötilojen ero on pieni, ovat hybridi-ilmanvaihdon käyttökustannukset esitettyä suuremmat.

Mikäli Latokartanossa olisi hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän sijasta tavallinen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, olisivat kustannukset huomattavasti kalliimmat. Esimerkiksi nimellisteholtaan 9 kW:n (4,5 kW tulo- ja poistopuhallin) tulisi ilmanvaihtokoneen normaalin käyntiajan 9 h/d kustannukseksi 0,9 €/d, kun energianhintana käytetään 0,1 €/kWh. Seurauksena tämä tarkoittaisi 19,8 euron kustannuksia kuukaudessa, kun oletetaan kuukauden keskimääräiseksi työpäivien määräksi 22 vuorokautta ja oletetaan että puhaltimet toimivat vain työpäivinä.

Kuvista 9.3.4 ja 9.3.5 näkyy selvästi normaalien arkipäivien kulutuksen ero viikonloppuihin verrattuna, jolloin puhaltimet ovat olleet vain hetkellisesti päällä tuuletuksen takia. Viikonlopputuuletuksen tarpeellisuus on selvitettävä mahdollisimman pian.



Kuva 9.3.4. Seuranta-ajanjakson kuvaaja P(avg) ja CO₂ (avg).



Kuva 9.3.5. Seuranta-ajanjakson kuvaaja T_u(avg).

9.4 Johtopäätökset

Käsiteltäessä insinööriyön toimeksiannon mukaisesti kohteen hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän toimivuutta eri käyttöolosuhteissa, lämpötiloissa sekä kuormitusprofileilla, huomataan sähkö- ja rakennusautomaatio-osuuden olevan tärkeissä rooleissa kaiken toiminnan kannalta.

Paikalla tehtyjen mittausten ja niistä saatavien tietojen perusteella ilmanvaihtokone TK204 toimii suunnitellun mukaisesti ja energiatehokkaasti. Ilmanvaihtokoneen apupuhaltimien toimintapiste seuraa CO₂-antureiden muutoksia. Toisaalta mittausten yhteydessä todettiin, että luokkatilan 120b CO₂-anturi on rikki eikä toimi suunnittelun mukaisesti. Anturin vääristämä tieto vaikuttaa myös puhaltimien toimintaan.

Hybridi-ilmanvaihtokoneen TK204 keskimääräiseksi sähköenergian tarpeeksi muodostui mittauksien perusteella 1,268 kWh/vrk. Tämä on normaaleissa käyttöolosuhteissa noin 28 kWh/kk, kun oletetaan, että kuukaudessa on keskimäärin 22 työpäivää. Vuoden sähköenergiatarpeeksi muodostuu näin ollen noin 500 kWh, kun oletetaan koulujen olevan käytössä noin 9 kk vuodessa ja oletetaan TK205:n kuluttavan saman verran sähköenergiaa. Aurinkoenergian tuotannoksi arvioitiin 9 447 kWh, joten aurinkosähköjärjestelmä täyttää omat tavoitteensa (tuottaa hybridi-ilmanvaihdon tarvitseman sähköenergian) moninkertaisesti. Laskelma pätee vain talvikuukausina, koska laskelmat perustuvat talvella suoritettuihin mittauksiin. Hybridi-ilmanvaihdon sähköenergian tarve on sitä suurempi mitä pienempi ulko- ja sisälämpötilojen ero on.

Mittauksien perusteella voidaan laskea, että hybridi-ilmanvaihdon sähkönsäästö olisi 81,8 % verrattuna vastaavantehoiseen koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään. Laskelma on verrattu hybridi-ilmanvaihdon toteutuneeseen tilanteeseen, jolloin luokkatilan 120b CO₂-anturi oli rikki. Mikäli anturi olisi ollut toimintakunnossa, olisi sähkönsäästö vieläkin suurempi. Laskelma pätee vain talvikuukausina, koska laskelmat perustuvat talvella suoritettuihin mittauksiin. Tapauksessa, jossa ulko- ja sisälämpötilojen ero on pienempi kuin laskentatilanteessa, hybridi-ilmanvaihdon sähkönsäästö on pienempi verrattuna koneelliseen järjestelmään. Kustannuslaskelmissa ei ole otettu kantaa, miten lämmöntalteenotto (LTO) vaikuttaisi sähkön- ja lämpöenergiankulutukseen, koska Latokartanon hybridi-ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa.

Kustannusvaikutuksiltaan hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä on kannattava. Toisaalta järkevä sekä suunnitelmien mukaisesti toimiva vastaavanlainen hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä vaatii suunnittelijaltaan ja toteuttajaltaan erikoisosaamista alasta. Lisäksi hybridi-ilmanvaihtojärjestelmää ohjaavan rakennusautomaatiojärjestelmän antureiden suunnittelussa ja sijoittelussa tulee käyttää suurta harkintaa. Esimerkiksi raitisilmakanavien virtausmittarit eivät toimi asianmukaisella tavalla. Hybridi-ilmanvaihdon apupuhaltimien sijoittelua sekä raitisilmakanavan lämmityspatterin välistä toimintaa tulee jatkossa seurata tarkasti. Hybridi-ilmanvaihdon ollessa pakko-ohjauksella huomattiin lämmityspatterin venttiilin olevan auki lähes 95-%:isesti ulkolämpötilan ollessa +4 °C (marraskuu 2010). Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia talvisin, mikäli hybridi-ilmanvaihtoa joudutaan pitämään pakko-ohjauksella pitempiä aikoja. Lisäksi raitisilmatornissa olevien neljän ulkopellin toimintaa tulee tarkkailla, jottei rakennukseen vahingossa synny ylipainetta ulkopeltien toimiessa suunnitelmien vastaisesti.

Rakennusautomaatiojärjestelmään tulisi lisätä ainakin CO₂-antureille tarkoitettu indikointi ja hälytys, joka ilmentäisi luokassa 120b vioittuneen CO₂-anturin nopeammin. Toistaiseksi ei ole tiedossa kyseisen anturin vioittumispäivää tai syytä, mutta tiedossa on, että kyseinen anturi on ohjannut koko ilmanvaihtokoneen TK204:n puhaltimien toimintaa. Indikointi ja hälytys voitaisiin toteuttaa esimerkiksi raja-arvo hälytyksellä. Mikäli tietyn anturin havaitsema lukema on jatkuvasti kaikkien mittareiden yhteenlaskettua keskiarvoa 250 PPM suurempi, se hälyttäisi.

10 Päätelmät

Työn rajauksen ja tavoitteen mukaisten teoreettisten tarkasteluiden pohjalta laadituilla laskelmilla nähdään, että Latokartanon peruskouluun toteutettu aurinkosähköjärjestelmä toimii teknisestä näkökulmasta tavoitteen mukaisesti. Laskelmien keskimääräiseksi aurinkoenergian tuotannoksi vuodelle 2010 saatiin 9 447 kWh, joka on noin 62,5 % teoreettisesta maksimista Suomessa.

Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto 9 447 kWh/v ylittää hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän kahden ilmanvaihtokoneen laskelmoidun, yhteensä 500 kWh/v sähköenergiatarpeen

moninkertaisesti. Aurinkosähköjärjestelmän minimi tuotantotavoite on siis saavutettu ja ylitetty.

Aurinkolahden todellisuuteen perustuvan arviointimenetelmän todettiin olevan luotettavampi arvioitaessa Latokartanon aurinkosähköjärjestelmän talvikuukausien tuotantoa. Kesäkuukausien osalta arviointimenetelmillä ei ole suurta eroavaisuutta.

Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon ollessa 9 447 kWh/v siitä saadaan laskettua vuotuiseksi kustannussäästökseksi 950 €, kun käytetään HKR - Rakennuttajan edellyttämää 0,1 € energianhintaa. Yhden neliömetrin aurinkopaneelin vuosittaiset kustannussäästöt ovat siis 12,24 € vuodessa. Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannukset olivat 85 000 € (alv 0 %). Takaisinmaksuajaksi muodostuu 89,5 vuotta, kun käytetään 0 % korkokantaa sekä edellä mainittua 950 €:n vuotuista kustannussäästöä.

Tarkasteltaessa järjestelmää ympäristön näkökulmasta, järjestelmä on vähentänyt kiinteistön aiheuttamia CO₂ - päästöjä hieman alle 2 500 kg vuodessa (2 456 kg). CO₂-päästöjen laskennallinen arviointi perustuu HKR - Rakennuttajan CO₂-päästöjen arviointiohjeen lukemaan, joka on 260 g/kWh. [8]

Investointi ei ole taloudellisesti kannattava, koska järjestelmä ei ehdi maksamaan itseään takaisin odotettavan elinkaaren eli 35–39 vuoden aikana. Lisäksi arvioidulla 9 447 kWh/v tuotannolla se vähentää vuosiostoenergiaa vain 1,8 %:lla.

Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä osoittautui paikan päällä tehtyjen mittausten sekä rakennusautomaatiosta saatavien tietojen perusteella toimivan suunnitelmien mukaisesti. Ilmanvaihtokoneen TK204 apupuhaltimet muuttavat niiden säätöpistettä CO₂-antureiden ilmoittamien pitoisuuksien perusteella. Luokkatilassa 120b todettiin myös viallinen CO₂-anturi. Viikonlopputuuletuksen tarpeellisuus on selvitettävä.

Kustannusvaikutusten näkökulmasta hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä on kannattava. Mittauksien perusteella saadaan hybridi-ilmanvaihdon sähkönsäästökseksi 81,8 % verrattuna vastaavantehoiseen koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään. Tämä laskelma pätee vain talvikuukausina, eikä lämmöntalteenoton (LTO) vaikutusta ole huomioitu.

Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmää ohjaavan rakennusautomaatiojärjestelmän antureiden suunnittelussa ja sijoittelussa tulee käyttää suurta harkintaa. Esimerkiksi raitisilmanavien virtausmittarit eivät toimi asianmukaisella tavalla. Hybridi-ilmanvaihdon apu-puhaltimien sijoittelua sekä raitisilmanakanavan lämmityspatterin välistä toimintaa tulee jatkossa seurata tarkasti. Lämmityspatterin venttiili saattaa aiheuttaa ongelmia talvisin, mikäli hybridi-ilmanvaihtoa joudutaan pitämään pakko-ohjauksella pitempiä aikoja. Tämä johtuu siitä, että venttiili oli ollut 95 %:sesti auki ulkolämpötilan ollessa +4 °C. Lisäksi raitisilmatornissa olevien neljän ulkopellin toimintaa tulee tarkkailla, jottei rakennukseen vahingossa synny ylipainetta ulkopeltien toimiessa suunnitelmien vastaisesti.

Rakennusautomaatiojärjestelmään tulisi lisätä ainakin CO₂-antureille tarkoitettu indikointi ja hälytys, joka ilmiantaisi vioittuneen CO₂-anturin nopeammin.

11 Loppuyhteenveto

Aurinkosähköjärjestelmästä saatava sähköenergia ja hybridi-ilmanvaihdon tuoma sähkön säästö edesauttavat omalta osaltaan saavuttamaan Helsingin kaupungin ilmastotavoitteita (KETS ja COM). Aurinkosähköjärjestelmä vähentää kasvihuonekaasujen tuotantamia päästöjä ja kasvattaa uusiutuvien energianlähteiden käytön osuutta. Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokas toiminta tuo puolestaan sähköenergiesäästöä, joka taas vähentää CO₂ päästöjä.

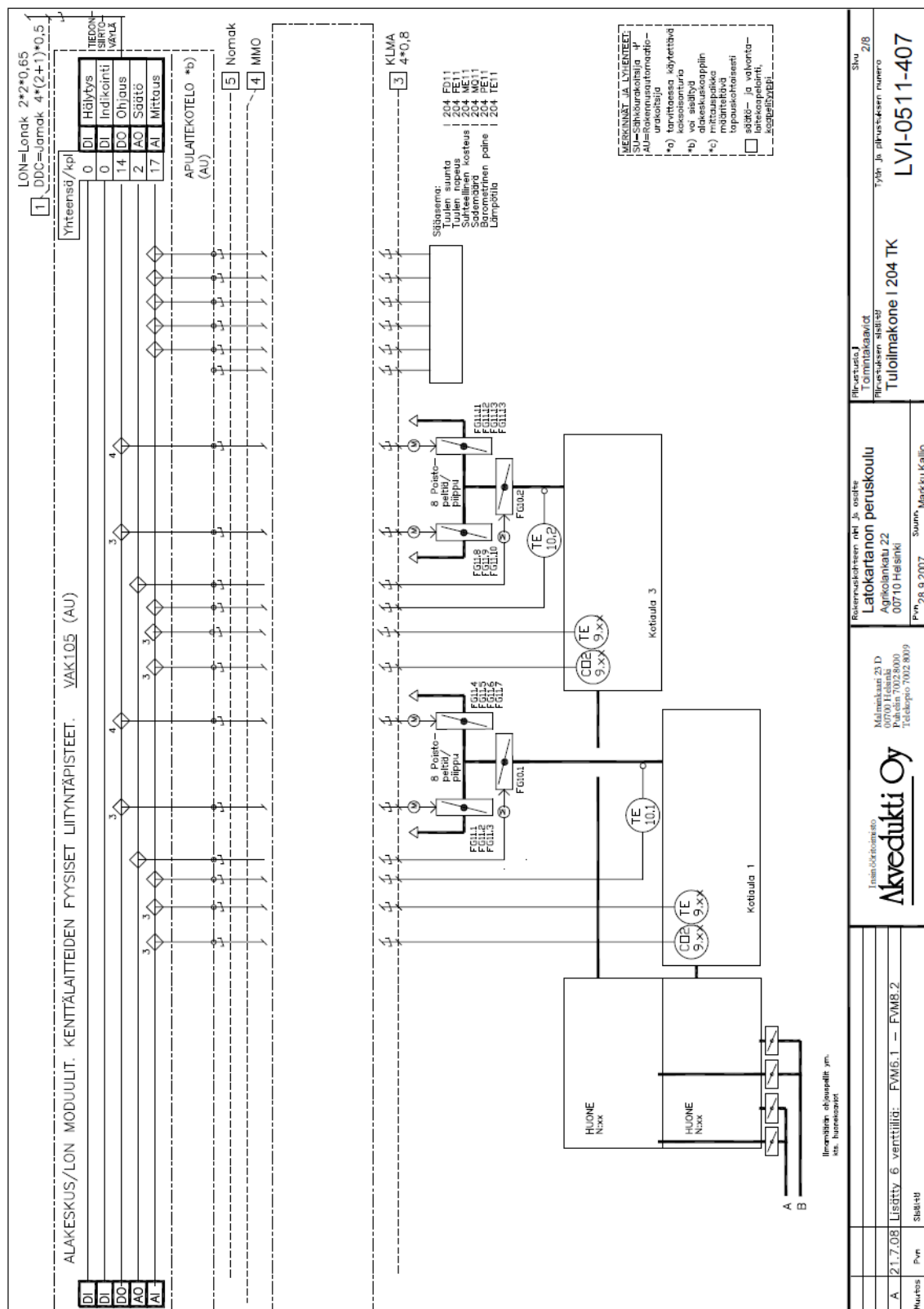
Aurinkosähköjärjestelmien yleistyminen ja sitä kautta hintojen halpeneminen tekee tästä uusiutuvasta energialähteestä yhä kannattavamman vaihtoehdon parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Tulevaisuudessa investoiminen yhä kannattavampiin uusiutuviin energianlähteisiin yhdessä muiden energiatehokkaiden ratkaisujen kanssa mahdollistavat ilmastotavoitteiden saavuttamisen. Edellä mainittujen mahdollisuuksien ja toimenpiteiden avulla Helsingin kaupungilla on mahdollisuus saavuttaa sitoumustensa tavoitteet.

Lähteet

- 1 Erat Bruno, Erkkilä Vesa, Nyman Christer ym. 2008. Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy.
- 2 Desyatnyk Kateryna. 2010. Aurinkosähköjärjestelmät rakennuksissa, Kandidaatin työ, Aalto-yliopisto.
- 3 Vanhatalo Tapio. 5.7.2010. Matalaenergiatalot lyömässä hitaasti läpi, Helsingin Sanomat s. A6.
- 4 Nurmi Petteri. 2009. Hybridi-ilmanvaihto ilmanvaihtoratkaisuna, Insinööritoimisto, Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 5 Heikkinen Jorma, Heinonen Jarkko, Vuolle Mika, Laine Tuomas & Liljeström Kimmo. 2002. Toimistorakennusten hybridi-ilmanvaihto, VTT:n tiedotteita-research Notes 2179, Espoo Otamedia.
- 6 Latokartanon peruskoulu Sähköselostus. 28.9.2007. Ins.tsto Lausamo Oy.
- 7 Zaitsev Alexandre, Energia-asiantuntija, HKR-Rakennuttaja, talotekninen toimisto, suullinen tiedonanto jaksolla 2010-2011.
- 8 Solpros Oy. Aurinkoenergian teknologia- ja markkinakatsaus. Verkkodokumentti. <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/1streport_final.PDF> Luettu 30.6.2010.
- 9 Ross Michael and Royer Jimmy. 1999. Photovoltaics in cold climates. London: James & James.
- 10 Latokartanon peruskoulun toimintakaaviot LVI-0511-400 ja LVI-0511-407. 2007. Ins.tsto Akvedukti Oy.
- 11 Helsingin Energia. Aurinkoenergiaa kerrostaloihin. Verkkodokumentti. <www.helen.fi/energia/aurinkoenergia.html> Luettu 2.8.2010.
- 12 Suntekno. Useita teknisiä esitteitä. Verkkodokumentti. <www.suntekno.fi/index>. Luettu 2.8.2010.
- 13 Kontinen Petri. 2009. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. PowerPoint-esitys.
- 14 Kontinen Petri. 2009. Aurinkoenergian merkitys Suomessa, aurinkolämpöjärjestelmät. PowerPoint-esitys.
- 15 Photovoltaic Power Systems. 2010. Verkkodokumentti. International Energy Agency. <http://www.iea-pvps.org/products/download/rep1_18.pdf>. Luettu 30.6.2010.
- 16 Pv status report, Joint Research Centre. 2009. European commission. Verkkodokumentti. <<http://re.jrc.ec.europa.eu/refsys/pdf/PV-Report2009.pdf>> Luettu 30.6.2010.

- 17 Heidrun Faninger-Lund, ISES 2003. Luettu 30.6.2010.
- 18 Kontinen Petri. 2009. Aurinkosähkön kehitys ja potentiaali. PowerPoint-esitys.
- 19 Kuronen Jarkko, DI Sähkötekniikka, Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. 25.1.2011.
- 20 Desyatnyk Kateryna. 2010. Aurinkosähköjärjestelmä ja sen tuotanto Helsingin kaupungin kohteessa Aurinkolahden peruskoulu, Erikoistyö, Aalto-yliopisto.
- 21 D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- 22 Tarkkaile sisäilman laatua, Suomela.fi. Verkkodokumentti.
<<http://www.suomela.fi/tarkkaile-sisailman-laatua.aspx>> Luettu 20.2.2011.
- 23 Zaitsev Alexandre. 2011. Opetusrakennusten sähköenergiankäytön analysointi ja käyttöajan ulkopuolisen energiatehokkuuden parantaminen, Diplomityö, Aalto-yliopisto.
- 24 Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista, 1313/2007.
- 25 TKK/Energialaous ja voimalaitostekniikka, Teollisuuden energijärjestelmät, 2002.
- 26 Alanne Kari, professori, Aalto-yliopisto. Ilmanvaihtotekniikka Ene-58.3113, kurssimateriaali.

[illegible][illegible]



[illegible]

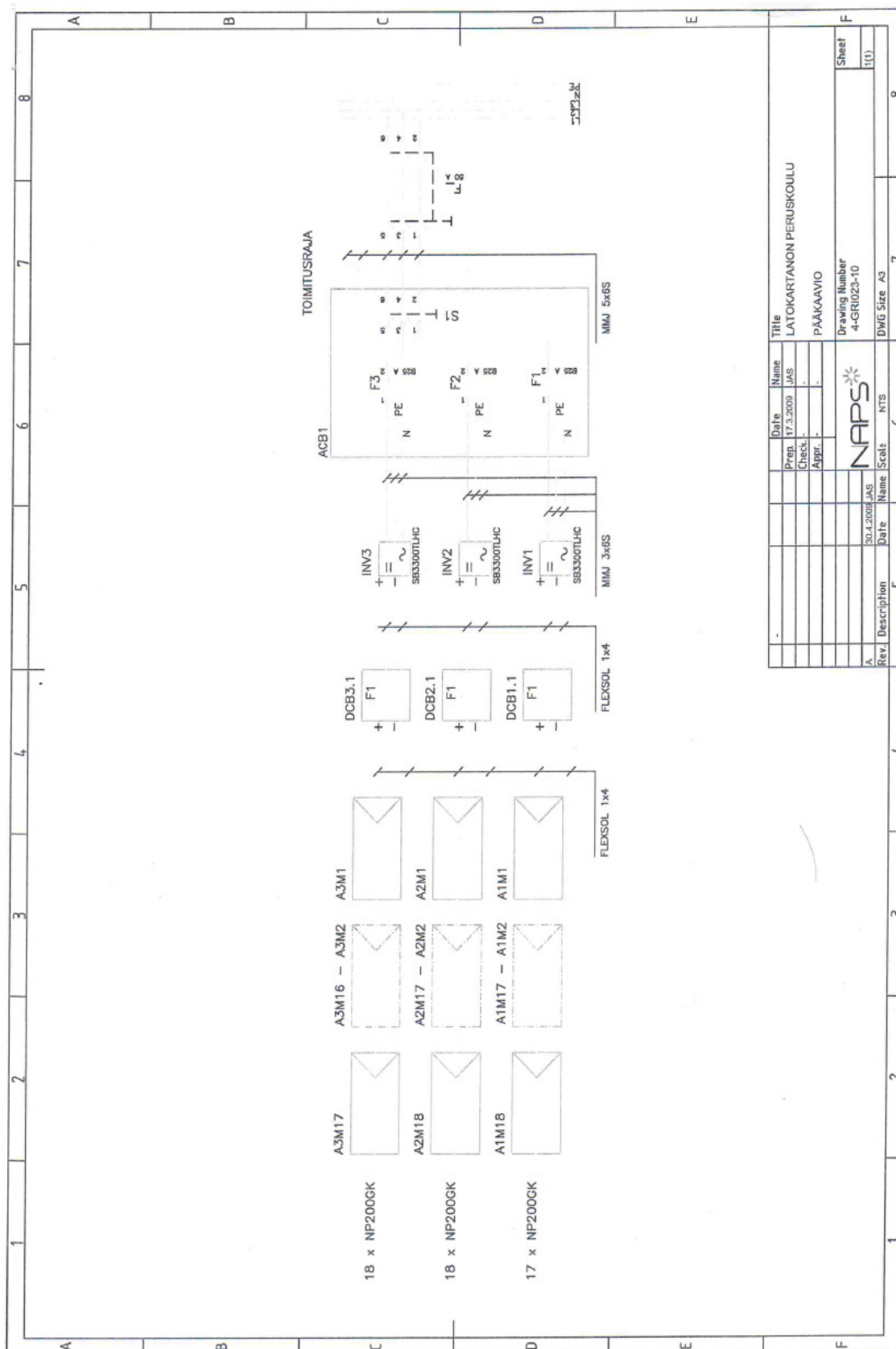
Liityntäpiste / Laitetunnus:	Kenttälaite tarkenne	Ohjelmaoiminnat							HÄLYTYSLUOKAT:				
		LON on SNVT- käytösuoistukset luettelon numero kts.*1): DDC on DDC-järjestelmän ohjelmaluettelon numero kts. *2).	Historiaseuranta ja trendit	Käyntialka-laskenta	Alkaohjelmat	Aamutuuletus (erikoisalkaohjelma)	Lisäalkaohjelma (erikoisalkaohjelma)	Lto-hyötysuhde käyttö-, huolto-, laskenta	Hälytykset	A1: palohälytys tai sen jälleenanto A2: hissihälytys A3: murtohälytys B1: Ivisa-kiirehälytys C1: Ivisa-huolto C2: Ivisa-ennakkohuolto			
TK	TULOIMAKONE	113.1, 303.1, 601.1	x	x	x	x	x	x	C1, C2	Käyntialkalaskennassa on asetettava hälräja (C2)			
FE6, -7	VIRTAUSLÄHETIN	104.2	x						C1	Virtausnopeus ja laskennallinen lmanäärä tilavuusvirtana dnt's			
TAZ14	JÄÄTYSVAARAKYTKIN	101.5, 401.1							B1				
TE2, -14	LÄMPÖTILA-ANTURI	101.1	x						B1				
TE5	LÄMPÖTILA-ANTURI	101.4	x						B1, C1	Palovaarahälytys ja liukuva raja-arvohälytys			
TE10	LÄMPÖTILA-ANTURI	101.4	x						B1, C1	Liittyy käyntiajan- ja seisonta-ajan säätöohjelmat			
TE11	LÄMPÖTILA-ANTURI	101.2											
TEL1	LÄMPÖTILA-ANTURI, Lattia	101.1	x						B1				
PV5	MOOTTORVENTTILI	201.1, 501.1	x							Liittyy käyntiajan- ja seisonta-ajan säätöohjelmat			
SC1, -2	TAAJUUSMUUTTAJA	309.2							B1				
P1	LÄMMITYSPATTERIN PUMPPU	306.1			x				B1				
EH1	RAITSLIMAKUULUN LATTIALÄMMI		x	x									
FD11	TUULEN SUUNTA												
FE11	TUULEN NOPEUS									SÄÄÄSEMA			
ME11	SUITEELLISEN KOSTEUS									SÄÄÄSEMA			
MQ11	SADENÄÄRÄ									SÄÄÄSEMA			
PE11	BAROMETRINEN PÄINE									SÄÄÄSEMA			
TE11	ULKOLÄMPÖTILA									SÄÄÄSEMA			
290HxS21	IV-HÄTÄSEIS PANIKKEYTKIN	302.1							B1	1 kpl/rakennus. Hälytys siirtyy järjestelmän tiedonsiirtoverkossa.			
290 K	IV-HÄTÄSEIS KONTAKTORI	307.1								1 kpl/ ryhmä- ta ohjauskeskus. Pysäyttää kaikki iv-puhallimet.			
HUOMI KAIKKI OHJELMAT TOIMIVAT SEKÄ KENTTÄLAITEOHJELMISSA ETTÄ VALVOMO-OHJELMISSA													
*1) = kts. "HKR/ Standardiverkko-ohjelmien (SNVT) käytösuoistukset 14.8.2000", jossa on esitetty numeroa vastaavaa verkko-ohjelmien toiminta.													
*2) = kts. "DDC-järjestelmän ohjelmaluettelo", sen vastaavaa numeroa jossa on esitetty ko. kohdan toiminta													

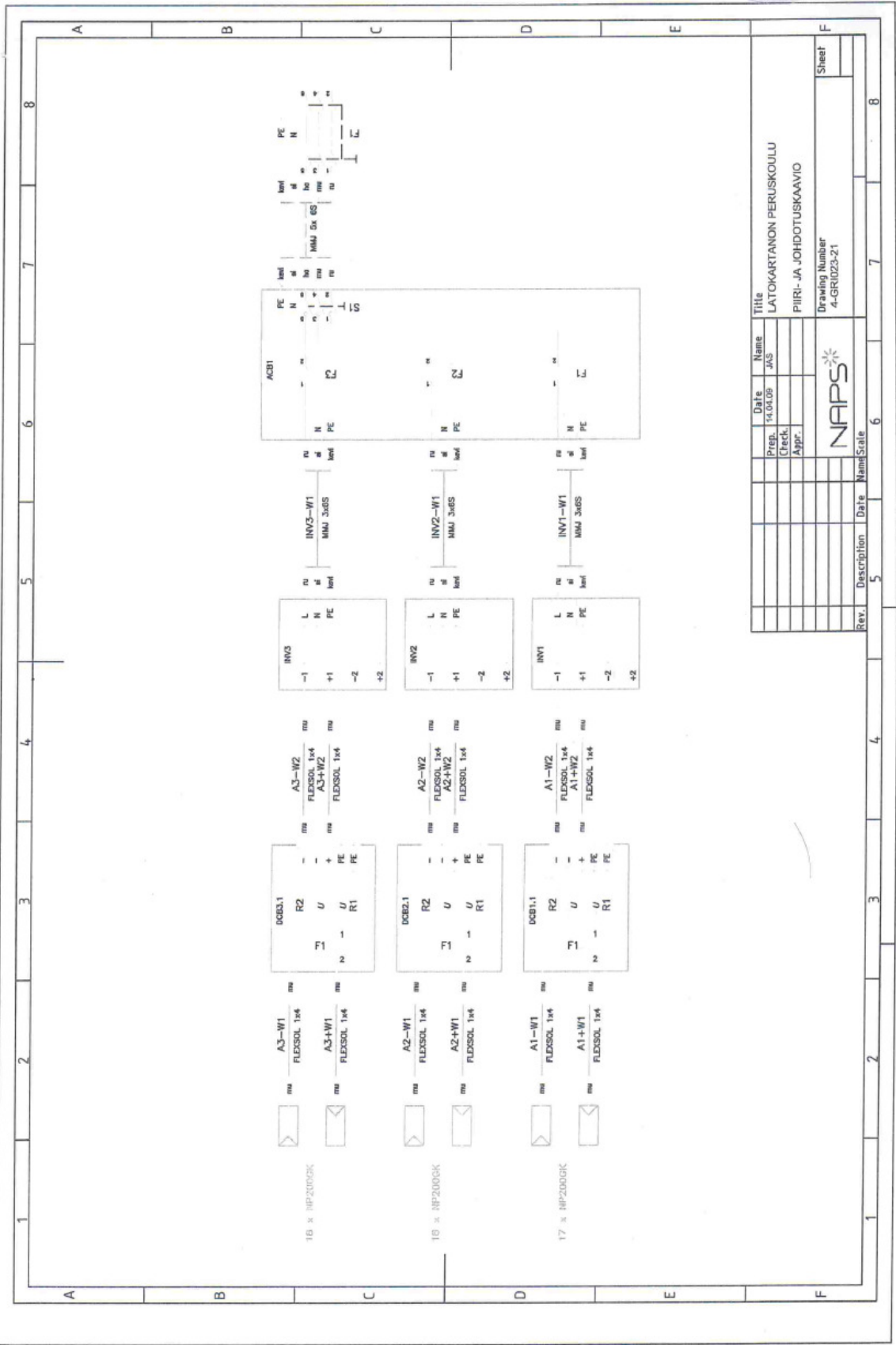
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje		Lisäysohje	
		Lisäysohje			

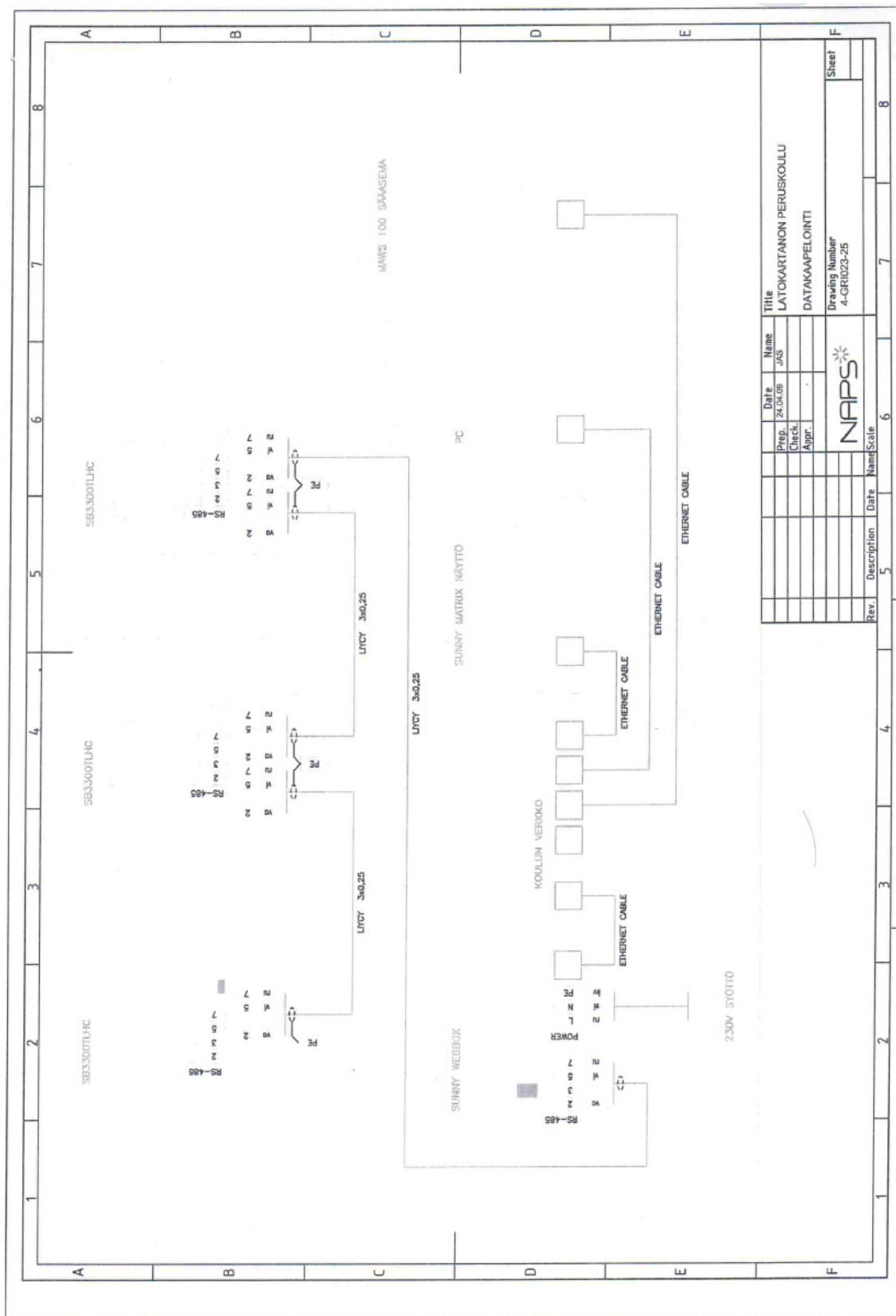
Naps Systems Oy:n kaavio GRI023

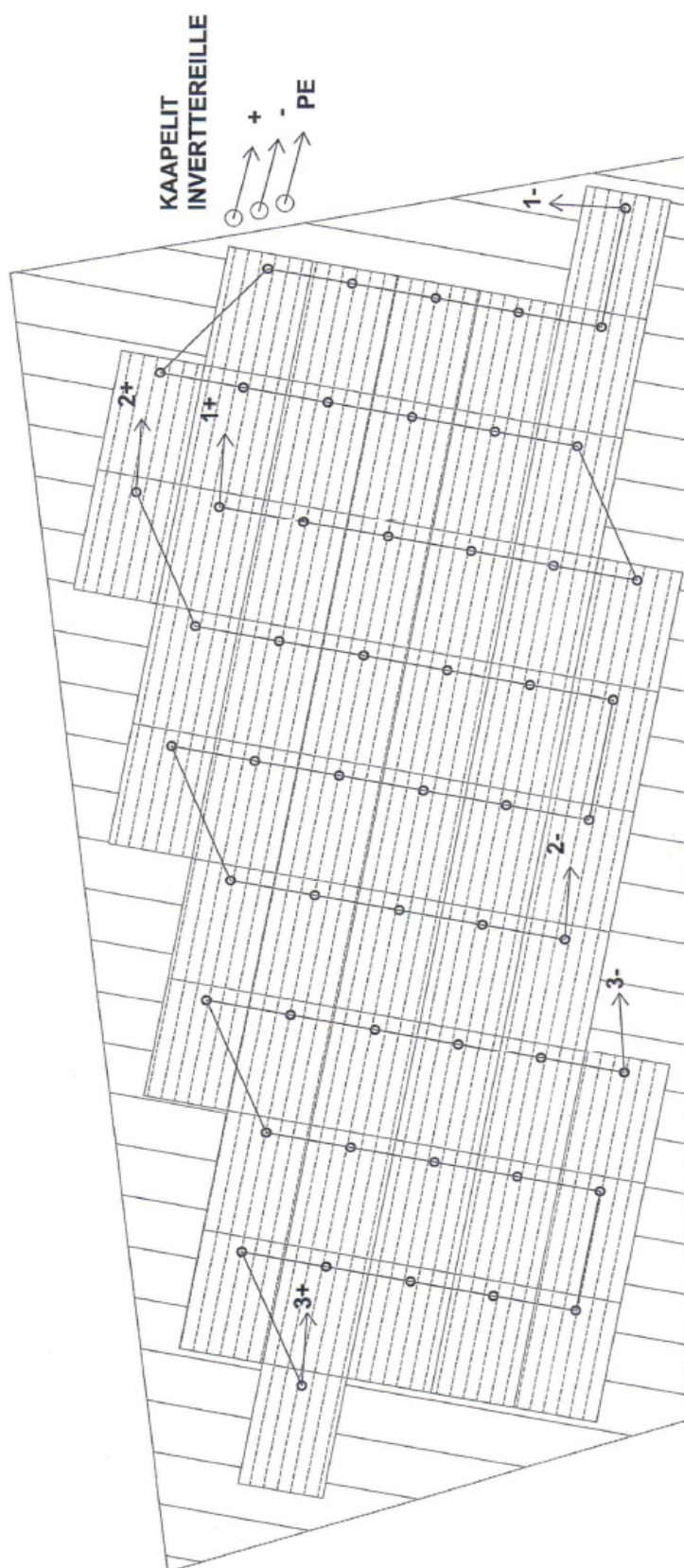
PIIRUSTUSLUETTELO
GRI023
LATOKARTANON PERUSKOULU

1	PIIRUSTUSLUETTELO	4-GRI023-00
2	PÄÄKAAVIO	3-GRI023-10
3	JOHDOTUS- JA PIIRIKAAVIO	4-GRI023-21
4	DATAKAAPELOINTI	4-GRI023-25
5	TAAJUUSMUUTTAJIEN SIJOTUSPIIRUSTUS	4-GRI023-40
6	AURINKOSÄHKÖMODUULIEN SIJOTUSPIIRUSTUS	3-GRI023-50
7	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MAADOITUSKAAVIO	4-GRI023-60

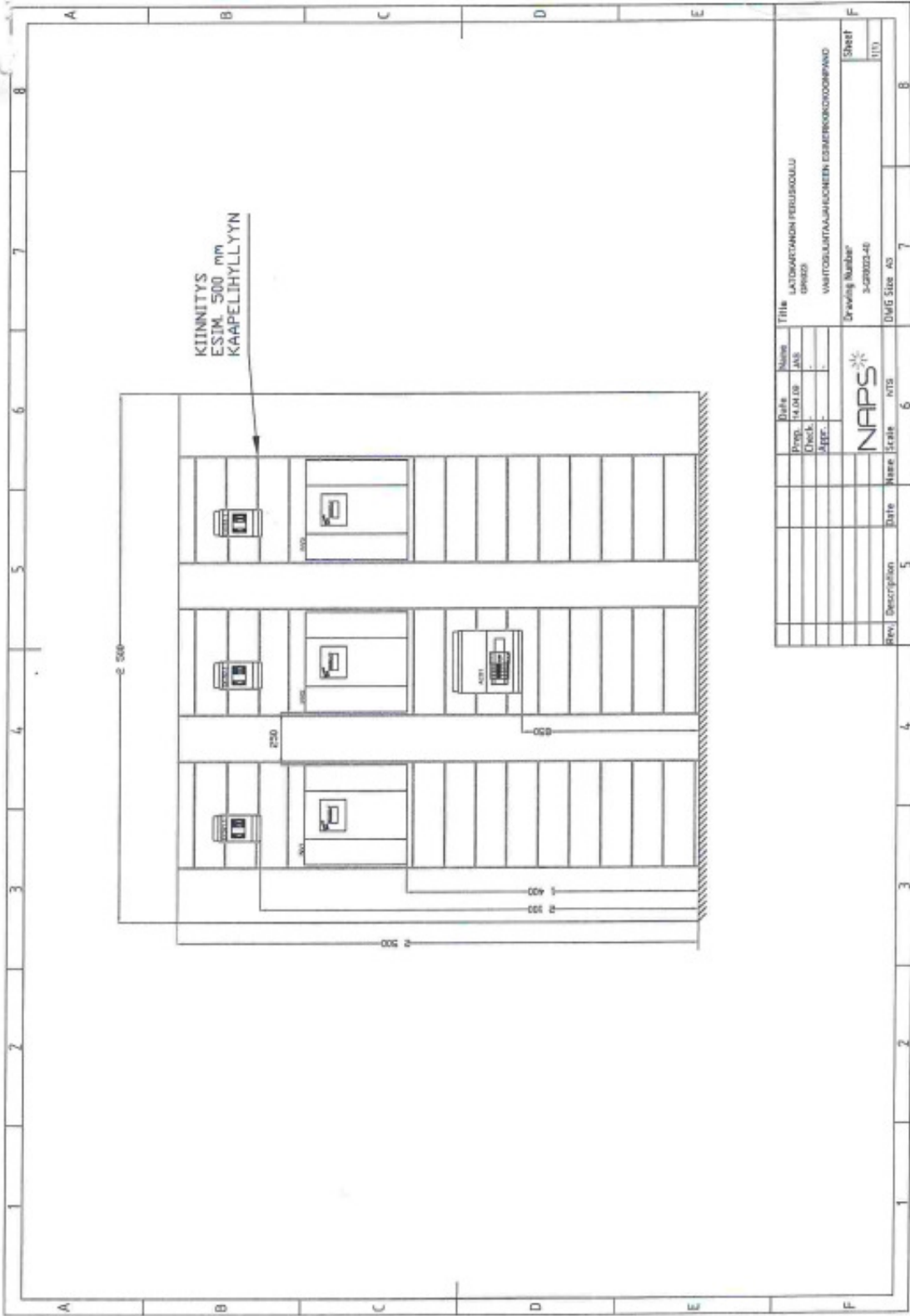












**Latokartanon peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän
tuotantotarkastelun lähtötiedot**

Laskelmien ja kuvaajien lähtötiedot.
Tarkastelun malli

Teoreettisen aurinkotehon laskentamalli perustuen Aurinkolahden vertailu kohteeseen.
Laskennalla on tarkoitus määrittellä keskimääräinen tuotettava teho Latokartanon peruskoulun aurinkopaneeleilla vuoden ajalta.
Laskenta perustuu Ilmatieteenlaitoksen Helsingille ilmoittamiin tilastoihin.

Helsinki, Auringonpaistetunnit (h) ka 1971 - 2000

eniten	vuosi	ka	vähiten	vuosi
tammikuu	80	1967	38	2001
helmikuu	152	1994	70	1974
maaliskuu	221	2005	138	1992
huhtikuu	312	1974	194	1977
toukokuu	379	2002	284	1977
kesäkuu	382	1970	297	1981
heinäkuu	414	1994	291	1977
elokuu	352	1996	238	1981
syyskuu	257	2000	150	1978
lokakuu	141	1973	9	1974
marraskuu	75	1988	36	1974
joulukuu	59	1978	29	1966

Teoreettinen tarkastelu, vuosi 2010

Latokartano

TILASTO

ENERGIA / M² ENERGIA / JÄRJESTELMÄ, a

aikaväli	paistetunnit	auringin säteily	hyötysuhde	ENERGIA / M ²		ENERGIA / JÄRJESTELMÄ, a	
kk	h	W/m2	%	kW/h/m2, kk	Laskelma	OG	OG
tammikuu	38,00	1 000,00	0,11	4,18	0,02	1,90	147,47
helmikuu	70,00	1 000,00	0,11	7,70	0,00	5,75	446,12
maaliskuu	138,00	1 000,00	0,11	15,18	0,28	11,05	857,36
huhtikuu	194,00	1 000,00	0,11	21,34	14,32	15,48	1 201,51
toukokuu	284,00	1 000,00	0,11	31,24	18,98	19,89	1 543,39
kesäkuu	297,00	1 000,00	0,11	32,67	21,38	20,56	1 595,32
heinäkuu	291,00	1 000,00	0,11	32,01	22,57	19,83	1 538,59
elokuu	238,00	1 000,00	0,11	26,18	17,95	16,19	1 256,68
syyskuu	150,00	1 000,00	0,11	16,50	8,90	10,54	817,78
lokakuu	9,00	1 000,00	0,11	0,99	7,26	6,19	480,37
marraskuu	36,00	1 000,00	0,11	3,96	1,19	1,91	148,36
joulukuu	29,00	1 000,00	0,11	3,19	0,00	1,59	123,59
YHT	1 774,00			195,14	112,83	130,88	10 156,53
osuus teoreettisesta						8 755,74	67,1 %
						57,8 %	

1971/2000 aikana ka Helsingissä 1858h

Teoria, ilmatieteenlaitoksen ilmoittamat arvot sekä lähde 18, aurinkoenergia s 1-8

Suoraan vaakatasolle tuleva aurion säteilytehosta laskettu aurinkosähkön potentiaalinen tuotto, P.

Empiirinen tarkastelu vrt kohteena Aurinkolahti

Analyyysissa tarkastellaan HKR:ltä saatuja Aurinkolahden peruskoulun tuotantotietoja.

Analyyysin tarkoituksena on määrittää Latokartanon koululle laskennallinen aurinkoenergian tuotto vuodelle 2010.

Laskennallinen tutkimus suoritetaan vertaamalla Aurinkolahden ja Latokartanon koulujen mittauksia 11/2010 - 2/2011.

Näistä mittauksista johdetaan kokemuksesta laskentakertoimen, jonka avulla laskemme Latokartanon alkuvuodelle arvioitua aurinkoenergian tuotosta.

Toisena tarkastelun tavoitteena on johtaa aurinkosähkönjärjestelmälle empiirinen kerroin kuvaamaan auringosta saatavaa energiaa vuokrauksesta suhteellisesti.

Laskelmissa käytämme HKR:n tilastoja, joissa on kompensoitu pois Aurinkolahdessa elokuussa 2010 voittunut invertteri.

Kummassakin kohteessa aurinkopaneelit on asennettu laskelmia ajatellen samalla tavalla,, noin 40-41 astetta etelään, Aurinkolahti, 60 cm katosta telinei-

HUOM

Edellä mainitusta poiketen on laskelmissa oletettu neliöllisen energiantuotannon olevan sama Aurinkolahdessa sekä Latokartanossa.

Lähtötiedot

Kohde	Aurinkopaneelit kpl	YHT m ²	Nimellisteho kW
Aurinkolahti	102	150	20,4
Latokartano	53	77,6	10,8

Tarkastelu ajanjakson kk

Oletetaan neliötehojen olevan sama, koska samat järjestelmät samoin asennettuina sekä sama sijainti.

2010	Aurinkolahti		Tuotannosta %	Kulutuksesta	Osto kWh	Kulutus kWh
	Aurinkosähkö yht	kWh/m ² ,d				
Tammikuu	1	2,6	0,0 %	0,0 %	30 395,0	30 397,6
Helmikuu	2	0,1	0,0 %	0,0 %	25 676,0	25 676,1
Maaliskuu	3	41,3	0,2 %	0,1 %	29 313,0	29 354,3
Huhtikuu	4	2 147,6	12,7 %	7,9 %	25 005,0	27 152,6
Toukokuu	5	2 846,4	16,8 %	11,2 %	22 578,0	25 424,4
Kesäkuu	6	3 206,4	18,9 %	18,4 %	14 262,9	17 469,2
Heinäkuu	7	3 385,2	20,0 %	21,4 %	12 404,6	15 789,8
Elokuu	8	2 692,9	15,9 %	13,2 %	17 730,4	20 423,3
Syyskuu	9	1 334,7	7,9 %	6,8 %	18 369,5	19 704,2
Lokakuu	10	1 088,6	6,4 %	3,6 %	29 017,0	30 105,6
Marraskuu	11	178,9	1,1 %	0,6 %	28 874,0	29 052,9
Joulukuu	12	0,1	0,0 %	0,0 %	25 536,0	25 536,1
	16 924,8	112,8	100 %	5,7 %	279 161,4	296 086,1

Latokartano, Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto perustuen Aurinkolahteen

2010	Laskelma	kWh/kk	kWh/m ² ,d	Tuotannosta	Kulutuksesta	Ostosähkö	Kulutus
				%	%	kWh	kWh
Tammikuu	1	1,3	0,0	0,0 %	0,0 %	58 834,0	58 835,3
Helmikuu	2	0,1	0,0	0,0 %	0,0 %	53 280,0	53 280,1
Maaliskuu	3	21,4	0,3	0,2 %	0,0 %	65 096,0	65 117,4
Huhtikuu	4	1 111,0	14,3	12,7 %	2,1 %	53 049,0	54 160,0
Toukokuu	5	1 472,5	19,0	16,8 %	2,6 %	54 818,0	56 290,5
Kesäkuu	6	1 658,8	21,4	18,9 %	4,7 %	33 599,0	35 257,8
Heinäkuu	7	1 751,3	22,6	20,0 %	6,4 %	25 824,0	27 575,3
Elokuu	8	1 393,1	18,0	15,9 %	4,4 %	30 491,0	31 884,1
Syyskuu	9	690,5	8,9	7,9 %	2,2 %	31 128,0	31 818,5
Lokakuu	10	563,2	7,3	6,4 %	1,7 %	32 355,0	32 918,2
Marraskuu	11	92,6	1,2	1,1 %	0,2 %	38 739,0	38 831,6
Joulukuu	12	0,1	0,0	0,0 %	0,0 %	41 105,0	41 105,1
YHT		8 755,7	112,8	100,0 %	1,7 %	518 318,0	527 073,7

Latokartano, Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto perustuen Insinööri-toimisto Olof Granlund Oy:N arvioon.

2010		OG		Tuotannosta		Kulutuksesta		Ostosähkö		Kulutus	
		kWh/kk	kWh/m ² ,d	%	%	%	%	kWh	kWh	kWh	kWh
Tammikuu	1	147,5	1,9	1,5 %	0,3 %			58 834,0		58 981,5	
Helmikuu	2	446,1	5,7	4,4 %	0,7 %			53 280,0		53 726,1	
Maaliskuu	3	857,4	11,0	8,4 %	1,6 %			65 096,0		65 953,4	
Huhtikuu	4	1 201,5	15,5	11,8 %	2,1 %			53 049,0		54 250,5	
Toukokuu	5	1 543,4	19,9	15,2 %	4,4 %			54 818,0		56 361,4	
Kesäkuu	6	1 595,3	20,6	15,7 %	5,8 %			33 599,0		35 194,3	
Heinäkuu	7	1 538,6	19,8	15,1 %	4,8 %			25 824,0		27 362,6	
Elokuu	8	1 256,7	16,2	12,4 %	3,9 %			30 491,0		31 747,7	
Syyskuu	9	817,8	10,5	8,1 %	2,5 %			31 128,0		31 945,8	
Lokakuu	10	480,4	6,2	4,7 %	1,2 %			32 355,0		32 835,4	
Marraskuu	11	148,4	1,9	1,5 %	0,4 %			38 739,0		38 887,4	
Joulukuu	12	123,6	1,6	1,2 %	0,0 %			41 105,0		41 228,6	
YHT		10 156,5	130,9	100,0 %	1,9 %			518 318,0		528 474,5	